

**MEDIDOR DE CAUDAL DE AGUA POTABLE DOMICILARIA CON CAPACIDAD
DE GENERACIÓN AUTÓNOMA DE ENERGÍA Y COMUNICACIÓN
INALÁMBRICA**

**MILTON JAVIER SIERRA MANTILLA
FABIO ALBERTO PINZON ACELAS
ALEJANDRA ORTIZ PABÓN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2016

**MEDIDOR DE CAUDAL DE AGUA POTABLE DOMICILIARIA CON CAPACIDAD
DE GENERACIÓN AUTÓNOMA DE ENERGÍA Y COMUNICACIÓN
INALÁMBRICA**

**MILTON JAVIER SIERRA MANTILLA
FABIO ALBERTO PINZON ACELAS
ALEJANDRA ORTIZ PABÓN**

**Proyecto de investigación presentado para obtener el título de:
Ingeniero(a) Electrónico(a)**

Director

**RODOLFO VILLAMIZAR MEJÍA
Ingeniero Electrónico, Ph.D**

Codirector

**GERMAN ALFONSO OSMA PINTO
Ingeniero Electrónico, MS.c**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2016

*Agradezco principalmente a mi madre, la cual con su sacrificio, esfuerzo y dedicación me
impulso para cumplir mis metas.
A todas esas personas que fueron, son y serán parte de mi vida y que contribuyeron a
realizarme como profesional.*

Milton S.

*Agradezco a mis tíos especialmente a mi tío Edwin ya que con su apoyo y motivación, ha
sido un gran motor para alcanzar esta meta.
También a mi familia y a mi amorosa esposa que siempre estuvieron apoyándome*

Fabio P.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	19
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
2 JUSTIFICACIÓN	22
3 OBJETIVOS	24
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	24
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
4 MARCO TEÓRICO.....	25
4.1 SISTEMAS DE GENERACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA	25
4.1.1. Microturbina.....	25
4.1.2. Generadores DC.	26
4.1.3. Almacenamiento de energía.....	27
4.2. MEDIDORES DE CAUDAL	27
4.2.1. Medidores de presión diferencial	28
4.2.2. Medidores de velocidad.....	28
4.2.3. Medidores volumétricos.....	29
4.2.4. Medidores de desplazamiento positivo	29
4.2.5. Formulas fundamentales para la medición de caudal.	29
5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	31
5.1. GENERALIDADES DEL SISTEMA.....	32
5.1.1. Generación y almacenamiento de energía eléctrica	32
5.1.2. Sistema de medición	34
5.1.3. Sistema de comunicación.....	34
5.2. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA	34
5.2.1. Selección del medidor de caudal	35
5.2.2. Selección de la tarjeta de procesamiento de datos.....	36

5.2.3.	Selección de la tarjeta de comunicación inalámbrica.....	37
5.2.4.	Balance energético.....	38
5.2.5.	Selección del acumulador de energía.....	39
5.2.6.	Selección del elevador.....	40
5.2.7.	Selección del minigenerador eléctrico	41
5.2.8.	Equipo de análisis y procesamiento de datos	43
5.2.9.	Interfaz gráfica.....	44
6.	DISEÑO, CONEXIÓN Y ENSAMBLE DEL PROYECTO.....	46
7.	PRUEBAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES	49
7.1.	PRUEBAS DE CONTROL DE GENERACION Y ALMACENAMIENTO DE ENERGIA	49
7.1.1.	Transmisión a flujo nominal y batería cargada.....	49
7.1.2.	Transmisión-descarga	50
7.1.3.	Transmisión-carga.....	51
7.2.	PRUEBAS DE LABORATORIO.....	52
7.2.1.	Ajuste del medidor.....	53
7.2.2.	Calibración y análisis de errores.....	60
7.3.	AJUSTE A LA SENSIBILIDAD DEL SENSOR	75
7.4.	PRUEBAS DE RANGO DE TRANSMISIÓN	77
8.	CONCLUSIONES.....	79
9.	TRABAJOS FUTUROS	81
	CITAS.....	82
	BIBLIOGRAFIA.....	85
	ANEXOS	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques de procesos del medidor	31
Figura 2. Esquema de flujo de chorro único y turbina de paleta simple. Fuente [18]	33
Figura 3. Sensor de caudal de agua elegido para el modelo funcional [11]	35
Figura 4. Tarjeta de desarrollo arduino uno r3, empleada para el análisis de datos. Fuente [9]	37
Figura 5. Tarjeta de comunicación xbee, (a) Módulo xbee s1. Fuente [14], (b) Módulo xbee explorer usb. Fuente [15], (c) Tarjeta de conversión xbee a dip. Fuente [16].	38
Figura 6. batería de ion de litio nikon. Fuente[17]	39
Figura 7. Convertidor dc-dc set-up elevador de tensión xl6009. Fuente [12].....	40
Figura 8. Estructura y dimensionamiento del mini generador hidroeléctrico. Fuente [10].	41
Figura 9. Curva de Caracterización del voltaje del minigenerado hidroeléctrico, después de las modificaciones realizadas	42
Figura 10. Curva de Caracterización de corriente del minigenerado hidroeléctrico, después de las modificaciones realizadas	43
Figura 11. Equipo para la recepción y procesamiento de datos	43
Figura 12. Diagrama de trabajo del modelo funcional	44
Figura 13. Interfaz gráfica, consumo de caudal	44
Figura 14. Archivo generado del procesamiento de datos.	45
Figura 15. Conexión del minigenerador hidroeléctrico y el sensor de caudal de agua	46
Figura 16. Diseño de la conexión de los componentes del medidor de caudal	47

Figura 17. Proyecto medidor de caudal	48
Figura 18. Señal de salida del sensor de flujo de caudal.	53
Figura 19. Gráficas de caudal máximo sin ajuste del anexo A, (a) prueba 1, (b) prueba 2, (c) prueba 3	55
Figura 20. Gráficas de caudal mínimo sin ajuste del anexo A, (a) prueba 1, (b) prueba 2, (c) prueba 3	56
Figura 21. Código para la velocidad de flujo del medidor corregido	57
Figura 22. Gráficas de caudal máximo después del ajuste del anexo A, (a) prueba 1, (b) prueba 2, (c) prueba 3	58
Figura 23. Gráficas de caudal mínimo después del ajuste del anexo A, (a) prueba 1, (b) prueba 2, (c) prueba 3	59
Figura 24. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q1, prueba 1 del anexo B.....	61
Figura 25. Curva característica de un medidor de agua potable, tomado de la NTC-1063:2007	64
Figura 26. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q1, prueba 2 del anexo B.....	64
Figura 27. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q1, prueba 3 del anexo B.....	65
Figura 28. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q2, prueba 1 del anexo B.....	66
Figura 29. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q2, prueba 2 del anexo B.....	67
Figura 30. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q2, prueba 3 del anexo B.....	68

Figura 31. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q3, prueba 1 del anexo B.....	69
Figura 32. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q3, prueba 2 del anexo B.....	70
Figura 33. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q3, prueba 3 del anexo B.....	71
Figura 34. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q4, prueba 1 del anexo B.....	72
Figura 35. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q4, prueba 2 del anexo B.....	73
Figura 36. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q4, prueba 3 del anexo B.....	74
Figura 37. Grafica de caudal mínimo después de ajuste de sensibilidad	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de selección del sensor de caudal de agua.....	35
Tabla 2. Balance energético potencia suministrada vs potencia consumida de los dispositivos propuestos	38
Tabla 3. Tabla de selección del generador hidroeléctrico.	41
Tabla 4. Asignación de pines del arduino uno r3	47
Tabla 5. Transmisión a flujo nominal y carga de batería	49
Tabla 6. Transmisión-descarga.....	50
Tabla 7. Transmisión-carga	51
Tabla 8. Caudales para medidor R25, Norma NTC-1063:2007.....	60
Tabla 9. Datos de la prueba 1, Q1	62
Tabla 10. Datos de la prueba 2, Q1	64
Tabla 11. Datos de la prueba 3, Q1	65
Tabla 12. Errores relativos de las pruebas Q1	65
Tabla 13. Error máximo permisible para Q1.....	66
Tabla 14. Datos de la prueba 1, Q2	67
Tabla 15. Datos de la prueba 2, Q2	67
Tabla 16. Datos de la prueba 3, Q2	68
Tabla 17. Errores Relativos de las pruebas Q2.....	69
Tabla 18. Error máximo permisible para Q2.....	69
Tabla 19. Datos de la prueba 1, Q3	70
Tabla 20. Datos de la prueba 2, Q3	70
Tabla 21. Datos de la prueba 3, Q3	71

Tabla 22. Errores Relativos de las pruebas Q3.....	71
Tabla 23. Error máximo permisible para Q3.....	72
Tabla 24. Datos de la prueba 1, Q4	73
Tabla 25. Datos de la prueba 2, Q4	73
Tabla 26. Datos de la prueba 3, Q4	74
Tabla 27. Errores Relativos de las pruebas Q4.....	74
Tabla 28. Error máximo permisible para Q4.....	75
Tabla 29. Rango de transmisión del dispositivo	77

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Ajuste del medidor.	87
ANEXO B. Calibración y análisis de errores.	91
ANEXO C. Datasheet generador	128
ANEXO D. Datasheet sensor de caudal	131
ANEXO E. Datasheet dulo xbee s1 antena pcb xb24-api-001	133
ANEXO F. Datasheet elevador de tensión.....	138
ANEXO G. Tabla de rango de caudales para prueba de calibración según la norma ntc 1063:2007.....	146
ANEXO H. Prueba de continuidad de flujo.....	147
ANEXO I. Tabla de minimo caudal	157
ANEXO J. Esquemático en kidcad.....	164

RESUMEN

TÍTULO: MEDIDOR DE CAUDAL DE AGUA POTABLE DOMICILIARIA CON CAPACIDAD DE GENERACIÓN AUTÓNOMA DE ENERGÍA Y COMUNICACIÓN INALÁMBRICA*

AUTOR: Alejandra Ortiz Pabón, Milton Javier Sierra Mantilla, Fabio Alberto Pinzón Acelas**

PALABRAS CLÁVES: caudal, calibrar, rango, interfaz gráfica, dispositivo, captación,

Actualmente, las empresas de acueducto y el consumidor presentan inconvenientes e inconformidades, sobre el medio de captación, procesamiento y visualización del consumo de agua potable en la tubería de media pulgada, por lo que se propone implementar un dispositivo funcional, medidor de caudal, que se base en la implementación de un sistema auto sostenible.

Este dispositivo funcional brinda un sistema de medición y de visualización en tiempo real, de forma inalámbrica, permitiendo así realizar una acción o toma de decisión de forma inmediata frente a un suceso inesperado o anomalías presentes en el flujo y consumo de agua potable; este se logra mediante la digitalización de la medida de volumen y su posterior transmisión de forma inalámbrica. Así mismo se aprovechamiento la energía cinética que posee el flujo del agua, para que mediante un generador suministrar energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del sistema. El proceso de visualización se realiza mediante una interfaz gráfica en el receptor del sistema, permitiendo un correcto estudio del consumo o flujo de agua potable. Para la evaluación del dispositivo se realizaron diferentes guías que permiten calibrar y establecer los rangos de funcionamiento y sus aplicaciones académicas.

Este trabajo de grado se basa en una serie de pautas, para el dimensionamiento del dispositivo medidor de caudal, partiendo de dispositivos de medición ya evaluados e implementados por el acueducto metropolitano de Bucaramanga; Además, el diseño del dispositivo se realizará de forma sencilla, teniendo en cuenta futuras mejoras, tanto en la generación de energía como en el desarrollo del software, implementando y poniendo en práctica los dispositivos y técnicas, vistas durante el desarrollo de la carrera de ingeniería electrónica en la universidad industrial de Santander.

* Proyecto de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: PhD. Rodolfo Villamizar Mejía, Codirector: Mg. German Alfonso Osma Pinto

SUMMARY

TITLE: DRINKING WATER FLOW METER WITH POWER GENERATION AND WIRELESS COMMUNICATION*

AUTHOR: Alejandra Ortiz Pabón, Milton Javier Sierra Mantilla, Fabio Alberto Pinzón Acelas**

Keywords: flow, calibration, range, GUI, device, feedback,

Currently, water companies and consumers have drawbacks and disagreements about the means of obtaining, processing and visualizing their household consumption of drinking water in the half an inch pipe, so we propose to implement a functional device, a flowmeter, which is based on the implementation of a self-sustained system.

This functional device provides a measurement system, real-time display wirelessly, allowing to perform an action or make a decision immediately when facing an unexpected event or an anomaly in the water flow and consumption; This is accomplished by scanning the flow rate, subsequently transmitting it wirelessly, and using the kinetic energy in the water flow, which means that the generator is supplied with the energy needed for the system's operation. The visualization process is done through a graphical interface on the receiving system, allowing proper study of water consumption or water flow. In order to evaluate the device, different guides to calibrate and to set the operating ranges were developed.

This paper is based on a set of guidelines for sizing the measuring device, based on measuring devices already evaluated and implemented by the Metropolitan Aqueduct of Bucaramanga; plus, the design of the device is simple, considering future improvements in both power generation and software development, implementing and putting into practice devices and techniques studied during the career in electronic engineering at the Universidad Industrial de Santander.

* Proyecto de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: PhD. Rodolfo Villamizar Mejía, Codirector: Mg. German Alfonso Osma Pinto

INTRODUCCIÓN

A partir del uso de las tecnologías de la información, es posible implementar soluciones, que permitan disponer de datos en línea sobre una o más variables. Una de las múltiples aplicaciones de estas tecnologías, consiste en utilizarla para la medición del volumen de agua consumida, ya que la medición exacta de esta variable es indispensable para facilitar y solucionar la toma de decisiones frente a un suceso inesperado o evento planeado, así como la recolección de datos con periodos de muestreo determinados para el análisis de consumo.

En la actualidad, la medición de caudal de agua se realiza a partir de diferentes dispositivos que brindan con exactitud los datos de forma análoga del consumo, por lo que el análisis y recolección de datos se debe realizar de forma manual, con el fin disminuir costos, en periodos prolongados de tiempo, dando lugar a posibles errores en el registro.

Por tanto, en este proyecto de grado se plantea una alternativa para solucionar los posibles errores que puedan afectar la confiabilidad en el registro del consumo de agua, al diseñar y construir un modelo funcional de un medidor digital autónomo de volumen de agua, con envío inmediato de datos de forma inalámbrica a un receptor remoto, para su debido almacenamiento y visualización. Para alimentar energéticamente este dispositivo se aprovecha el caudal de agua, utilizando un generador eléctrico.

Para la implementación del sistema de comunicación se trabajó directamente con el dispositivo ARDUINO¹, que junto al dispositivo XBEE² integran un sistema de comunicación WLAN. Esta configuración fue seleccionada debido a la compatibilidad que existe entre los dos dispositivos y a la facilidad de manejo que presenta el *software*; por último mediante una interfaz gráfica se visualizarán los datos del caudal.

El montaje requerido para la implementación del dispositivo es descrito a lo largo del texto, acompañado de las prácticas de laboratorio propuestas. Finalmente, se presentan las conclusiones del trabajo y se proponen las respectivas recomendaciones

¹ Arduino es una fuente abierta comunidad compañía de hardware y software, proyecto y usuario que diseña y fabrica equipos para la construcción de dispositivos digitales y objetos interactivos que pueden detectar y controlar el mundo físico

² **XBee** es el nombre comercial de Digi International para una familia de factor de forma de módulos de radio compatible

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La comunicación inalámbrica ha evolucionado dando a lugar a grandes cambios en los diferentes sistemas de comunicación, creándose así nuevas tecnologías que permiten mejor manejo de dispositivos con mayor eficiencia; principalmente comunicaciones digitales, ya que son menos afectadas por el ruido y sus tramas digitales de información son fácilmente procesadas y almacenadas mediante diferentes *software*, que permiten cambios y correcciones desde el mismo dispositivo o un dispositivo cercano.

Realizando las respectivas consultas, actualmente en las empresas de acueducto buscan mejorar la forma de recolección de datos de consumo de agua potable, dado que en la mayoría de ellas se hace lectura manual por parte de un operario, en un periodo de 1 a 2 meses, lo que demanda costos de logística y genera información con baja frecuencia de actualización. Los medidores típicamente usados son apropiados y robustos para la medición de volumen de agua consumido, sin embargo, dado su principio mecánico para el almacenamiento y lectura del consumo (registrador mecánico con capacidad de visualización en sitio del consumo) no poseen la capacidad de transmitir datos remotamente, lo que facilitaría su recolección. Por esto resultará útil disponer de un sistema de medición digital con capacidad de almacenar y transmitir datos de forma inalámbrica. Tal dispositivo electrónico demandará una energía eléctrica nominal para su funcionamiento (almacenamiento y transmisión de datos), la que podría suministrarse de la red eléctrica. Sin embargo, dada la ubicación remota de algunos puntos de medición, tal suministro resulta complejo, por lo que se debe evitar la dependencia de la energía de la red a partir de la autogeneración de energía por parte del dispositivo de medida, así como transmitir inalámbricamente del dato de consumo, sin perder la precisión y robustez en la medida ofrecida por los medidores actuales.

2 JUSTIFICACIÓN

La necesidad de bajar costos en las empresas es un aspecto importante hoy en día, por lo que la automatización de algunos procesos resulta ser una alternativa importante. Específicamente, en la medición de consumo de agua potable, este trabajo está enfocado en plantear una solución al problema de lectura automática diaria de datos de consumo de volumen de agua, sin perder las características de la medición actual, tales como precisión y calibración.

Para las empresas suministradoras del servicio de agua potable, como para sus usuarios resulta de gran beneficio disponer en línea la medición del consumo de agua. Por parte de la empresa permite mejor manejo y exactitud en las labores de facturación, control de pérdidas, caracterización del usuario y análisis estadísticos, además de ser llevadas a cabo de una manera más fácil. Por parte del usuario, permite emprender tareas de racionalización y cultura de consumo.

Hasta la fecha, las propuestas realizadas con el fin de medición de volumen de agua, van desde medidores de caudal o contadores de agua [1], prototipos físicos basados en radiofrecuencia [2], hasta medidores de agua controlados por tarjetas de carga electrónica [3]; este último permite realizar compra directa del líquido sin generación de facturas y permitiendo control sobre el agua que se desea consumir.

Aunque estos prototipos, han brindado grandes facilidades en el servicio de medición de agua, son limitados en cuanto a autogeneración energética y transmisión de datos, lo que da lugar a un mejoramiento excelente y una alternativa a los medidores cotidianos, dando como resultado un dispositivo que integra tecnología de *software*, *hardware* y comunicación inalámbrica, donde el tratamiento de las diferentes señales generadas por los elementos del prototipo,

son interpretadas mediante *el software*, para obtener del sistema la respuesta o consumo de agua.

Al tener un dispositivo funcional que integre hardware y software, permite aprovechar las diferentes ventajas que los dos ofrecen, tales como reconfiguración de diferentes procesos u operaciones de las variables del sistema.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL.

Medir y transmitir inalámbricamente el consumo de agua potable domiciliario mediante un mecanismo de medición digital, con autonomía energética para su operación.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Medir caudal de manera digital, con fines de almacenamiento y transmisión de datos de consumo de volumen de agua.
- Generar energía eléctrica para el consumo propio del dispositivo de medida, a partir de la energía cinética presente en el flujo de agua
- Almacenar y transmitir de forma inalámbrica el consumo de agua con una frecuencia diaria.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 SISTEMAS DE GENERACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Los microgeneradores hidráulicos cubren una gama de potencias adecuadas para poder actuar como generadores a una escala reducida, cubriendo las necesidades para diferentes dispositivos, este potencial está ligado directamente a la turbina que mueve el eje del generador eléctrico, por esto es de vital importancia al elegir la turbina adecuada para cada sistema hidroeléctrico.

4.1.1. Microturbina. Una Turbina hidráulica, aprovecha la energía de un fluido que pasa a través de ella para producir un movimiento de rotación, transferido a un eje, que mueve un generador. Las turbinas se pueden clasificar de varias maneras, estas son:

- Según la dirección en que entra el agua:
 - Turbinas axiales: el agua entra en el rodete en la dirección del eje.
 - Turbinas radiales: el agua entra en sentido radial, no obstante el agua puede salir en cualquier dirección.

- De acuerdo al modo de obrar del agua:
 - Turbinas de chorro o de acción simple o directa.
 - Turbinas de sobrepresión o de reacción.

- Según la dirección del eje:
 - Horizontales.

- Verticales.
- De acuerdo al diseño del rodete:
 - Turbina Kaplan
 - Turbina Hélice
 - Turbina Pelton
 - Turbina Francis
 - Turbina Ossberger / Banki / Michell:

4.1.2. Generadores DC. Un generador eléctrico convierte la energía mecánica en energía eléctrica. Los generadores de corriente continua son más fiables y eficientes que los generadores de corriente alterna, y se pueden clasificar según el tipo de excitación.

- Autoexcitados

En los generadores autoexcitados, la corriente continua que excita las bobinas inductoras procede del mismo generador. Para obtener la autoexcitación, es preciso que exista un pequeño flujo en el circuito magnético, flujo que es producido gracias al fenómeno de histéresis magnética.

- Excitación independiente

El generador con excitación independiente se basa en que la corriente continua que alimenta el devanado proviene de una fuente independiente como una batería, un rectificador conectado a una red alterna, o bien un generador de corriente continua rotativo.

4.1.3. Almacenamiento de energía. Carga Profunda: Es la primera fase del proceso de carga, el sistema de regulación permite la entrada de corriente de carga a los acumuladores sin interrupción hasta alcanzar el punto de tensión final de carga.

Descarga: La descarga de la batería se debe a que entre sus terminales se incorpore una carga que cierre el circuito, durante este proceso la batería se comporta como una fuente de tensión de valor constante.

Eficiencia de carga: Es la relación entre la energía empleada para cargar la batería y la realmente almacenada.

Auto descarga: Es el proceso por el cual el acumulador, sin estar en uso, tiende a descargarse.

Profundidad de descarga: La profundidad de descarga indica el valor de la carga, en tanto por ciento con respecto a la total, que se ha sacado del acumulador en una descarga [4].

4.2. MEDIDORES DE CAUDAL

Estos medidores permiten obtener, por medio de una sola medida, el peso o el volumen que por unidad de tiempo pasa por determinada sección transversal [5]. La medida de caudal consiste en la determinación de la cantidad de masa o volumen que circula en un área por unidad de tiempo.

Los instrumentos que llevan a cabo la medida de un caudal se denominan, caudalímetros o medidores de caudal, constituyendo una modalidad particular de los contadores, los cuales integran dispositivos adecuados para medir y justificar el volumen que ha circulado.

Los medidores de caudal volumétrico pueden determinar el caudal de volumen de fluido de dos formas:

- Directamente, mediante dispositivos de desplazamiento positivo.
- Indirectamente, mediante dispositivos de: presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, etc [6].

Actualmente existen aparatos y sistemas que permiten controlar flujo o caudal y volúmenes, estos dispositivos aplican diferentes principios para realizar su medición. La medición del flujo es una función importante dentro de cualquier organización que emplee fluidos para realizar sus operaciones regulares.

4.2.1. Medidores de presión diferencial. El método más ampliamente utilizado para la medida industrial de caudales es a partir de la presión diferencial. Existen varios tipos de elementos de medida basados en este principio, como son: placa de orificio con diversas formas, tubos venturi, toberas, tubos pitot, tubos annubar, etc. [7]. Se basa principalmente en el teorema de Bernoulli, el cual relaciona la energía cinética, la potencial y la presión de un fluido en diferentes puntos del tubo conductor.

4.2.2. Medidores de velocidad. Estos instrumentos utilizan el empuje dinámico que posee el agua para determinar el caudal del flujo. Además, utilizan un elemento primario, que consiste en álabes, que giran dentro de la tubería a presión, obteniendo su medición ya que existe una proporción entre el número de revoluciones que dan las aspas y la velocidad del agua circundante.

4.2.3. Medidores volumétricos. Se utilizan en los sistemas domésticos de distribución de aguas y gas domiciliario y consisten en un disco colocado dentro de una cámara, de manera que un volumen conocido de fluido circula a través del medidor por oscilación del disco [5].

4.2.4. Medidores de desplazamiento positivo. Los medidores de desplazamiento positivo miden la cantidad de fluido que circula por un conducto, dividiendo el flujo en volúmenes separados y sumando los volúmenes que pasan a través del medidor.

4.2.5. Formulas fundamentales para la medición de caudal. Las siguientes formulas son empleadas para medir el caudal que pasa por las tuberías.

- **Ecuación de continuidad:**

$$Q = A V ,$$

$$\rho A_1 V_1 = \rho A_2 V_2 = Q$$

Dónde:

A , área.

V , Velocidad.

ρ , Densidad del agua.

- **Ecuación de bernoulli :**

$$P_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} + \rho g Z_1 = P_2 + \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho g Z_2 = Cte,$$

Dónde:

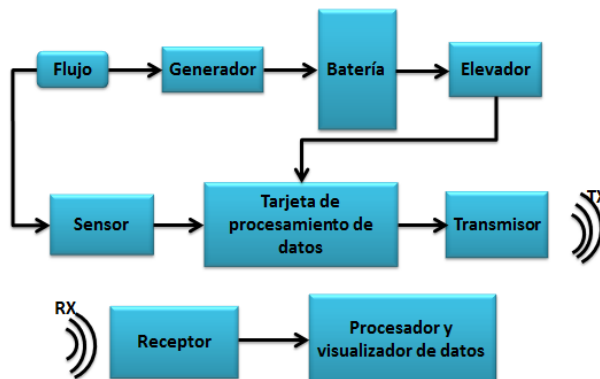
- V = velocidad del fluido en la sección considerada.
- ρ = densidad del fluido.
- P = presión a lo largo de la línea de corriente.

- g = aceleración gravitatoria
- Z = altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia.

5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

La Figura 1 muestra el diagrama de bloques que es una guía de los procesos y partes del modelo funcional.

Figura 1. Diagrama de bloques de procesos del medidor



Este diagrama de bloques se divide para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos de este trabajo de grado. El punto inicial del sistema es el flujo de caudal de agua, que pasa a través de la tubería para producir energía eléctrica por medio del generador; el generado carga o almacena la energía en una batería, la cual por medio de un elevador proporciona la potencia de funcionamiento al arduino, esta etapa se conocerá como generación y almacenamiento de energía, la cual es la etapa más importante en el dispositivo, ya que la energía que emplea es de una fuente renovable y en la actualidad son pocos los dispositivos que emplean este tipo de energía; las etapa siguiente es la de medición digital del volumen de agua, y se encarga de medir el flujo de agua digitalizándolo para ser analizado por la tarjeta de procesamiento de datos, por ultimo esta la etapa de transmisión y procesamiento de datos el cual se basa en un receptor y transmisor que se encarga de realizar la comunicación inalámbrica y una pc personal para visualizar y procesar los datos. A continuación se describirán estas etapas teniendo en cuenta las diferentes características a implementar en el proyecto.

5.1. GENERALIDADES DEL SISTEMA

Ahora se procede a describir los componentes del dispositivo funcional y todos los parámetros que se tuvieron en cuenta para su diseño. Se realizó una recolección de información y un análisis de los diferentes medidores de caudal buscando aquellos que presentaran condiciones de operación similares a las esperadas.

5.1.1. Generación y almacenamiento de energía eléctrica. Para la generación eléctrica del dispositivo propuesto, se emplea el flujo de agua potable que pasa por una tubería de media pulgada. Por esta razón, se hace necesario un generador de energía eléctrica, capaz de transformar la energía cinética del flujo de agua potable en la energía eléctrica necesaria para la alimentación del sistema de medición, almacenamiento de datos y comunicación.

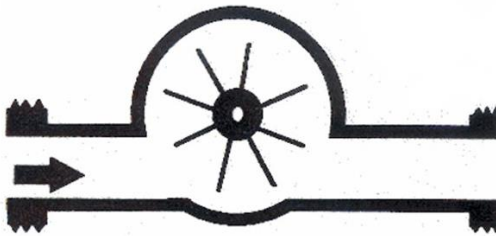
Para utilizar toda la energía del flujo de agua se requiere un generador de tipo primario. Este generador convertirá la energía hidráulica en eléctrica sin pérdidas. También se debe enfocar, en los generadores que funcionen con un principio mecánico y teniendo en cuenta que la energía eléctrica será suministrada por el flujo del agua, el generador que se debe escoger es de tipo magneto-mecánico. Entre los generadores de este tipo se encuentran los dínamos y los alternadores, la diferencia entre ellos es la naturaleza de la corriente que se genera; los dínamos generan corriente continua y los alternadores corriente alterna.

Finalmente, se escogió los generadores tipo dínamo. Gracias al principio dinamoeléctrico se puede aprovechar la autoexcitación de los generadores de corriente continua [8].

Para el tipo de turbina, se debe tener en cuenta la dirección del agua y la cantidad de chorros de agua que se van a usar, teniendo en cuenta que el

flujo de agua que entra al dispositivo es de chorro único, y que este choca directamente con las palas de la turbina en una sola dirección. Por tanto, es necesaria una microturbina de paleta simple, que está diseñada para aprovechar el flujo de una tubería de media pulgada, teniendo mínimas pérdidas; la Figura 2 muestra el esquema a usar, gracias a la selección realizada.

Figura 2. Esquema de flujo de chorro único y turbina de paleta simple. Fuente [18]



Para aumentar la eficiencia del dispositivo funcional, se complementó con un acumulador o batería, el cual se utilizará dado el caso que el generador deje de funcionar, ya que el flujo de agua que lo atraviesa sea mínimo o nulo. Cabe resaltar que este se cargará con la ayuda del generador y de esta manera aprovecharemos al máximo la tensión generada y realizaremos un medidor de caudal que trabajará con energía limpia.

La principal importancia de almacenar la energía eléctrica es poder utilizarla cuando sea necesaria y que no se pueda disponer directamente de la fuente principal (generador). Según la salida del generador se debe escoger el valor en voltios de la batería y la corriente de carga, de manera que no se vea afectado el correcto funcionamiento del dispositivo.

5.1.2. Sistema de medición. El objetivo principal en la medición es tener un seguimiento del consumo o de flujo de caudal en una tubería de media pulgada. Para obtener de forma clara y precisa la medida, es necesaria la adquisición de información, para esto se usa un elemento llamado sensor, el cual nos indica mediante una señal o un pulso que será analizado por una tarjeta de desarrollo, la que por medio de una programación realice los cálculos de la cantidad de agua o flujo de agua que pasa en ese momento.

Por mayor simplicidad al momento de realizar los cálculos y mejor manejo de los datos se eligió un sensor que posea una salida digital o sensor digital, ya que estos se encargan de convertir señales analógicas en digitales.

5.1.3. Sistema de comunicación. Para el envío y recepción de forma remota de los datos del dispositivo, se busca hacerlo de forma sencilla, eficiente, con un mínimo consumo de potencia. Además el envío y recepción de los datos se realizaran de forma punto a punto, permitiendo cambios en el *software* para el mejoramiento del dispositivo. Para el alcance que se requiera en el dispositivo, se debe instalar la antena que mejor corresponda.

5.2. SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

La selección de las diferentes partes del sistema, se centra en dar un correcto funcionamiento al trabajo de grado, aprovechando los conocimientos adquiridos durante la carrera de ingeniería electrónica, resolviendo los inconvenientes que surjan en el cumplimiento de los objetivos. En el criterio de selección se tendrá en cuenta variables como costos, fiabilidad, compatibilidad, conocimiento del dispositivo, desarrollo y futuras mejoras.

5.2.1. Selección del medidor de caudal. Para el proceso de selección del medidor de caudal se tuvo en cuenta, el costo y las características propuestas por el análisis realizado para el dispositivo funcional. Se estableció buscar un dispositivo que midiera caudal de agua en una tubería de media pulgada y que su salida fuera digital. Analizando la Tabla 1, se tiene que por el diámetro de conexión se usara el SENSOR DE CAUDAL DE AGUA 1-30 LITROS / MINUTOS 2.0 Mpa [11], que se puede observar en la Figura 3.

Tabla 1. Tabla de selección del sensor de caudal de agua

Dispositivo	Costo	Diámetro de conexión	Precisión	Rango de lectura
Sensores de caudal por inserción	40000	Universal	± 4%	0.5 – 30 L/Min
Sensor de caudal de agua YF-21	30000	Media pulgada	± 5%	1 – 30 L/Min
Sensor encoder	2000	Según diseño	± 10%	Sin caracterizar

Figura 3. Sensor de caudal de agua elegido para el modelo funcional [11]



5.2.2. Selección de la tarjeta de procesamiento de datos. Después de la selección del medidor de caudal, se procede a establecer la tarjeta para el análisis operacional del sensor de caudal y el control de envío de datos. Para la selección de esta tarjeta se debe concentrar en el hecho de que se pueda programar de forma sencilla, bajo consumo energético, bajo costo; lo que en el mercado llevó a tres posibles tarjetas: Arduino uno r3, raspberrypi³, FPGA⁴; las características a tener en cuenta se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Criterios de selección de la tarjeta de procesamiento de datos

Tarjeta de procesamiento de datos	Lenguaje de programación	Voltaje del sistema	Costo
Arduino uno r3	C,C++, java, VBScript	5 V	60000
FPGA	VHDL, verilog, ABEL	8 V- 12 V	350000
Raspberrypi	C,C++,Python	5 v -1,5 A	150000

Para el análisis operacional del sensor de caudal y control de envío de datos, se seleccionó la tarjeta Arduino uno rev3 [9], con microcontrolador ATmega 328⁵ debido a su facilidad de programación, capacidad de rediseño del dispositivo funcional, facilidad de acople con los demás componentes del sistema y equivalencia en costo a realizar una tarjeta personalizada para este proyecto.

³ <http://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi/>

⁴ FPGA: *Field Programmable Gate Array*.

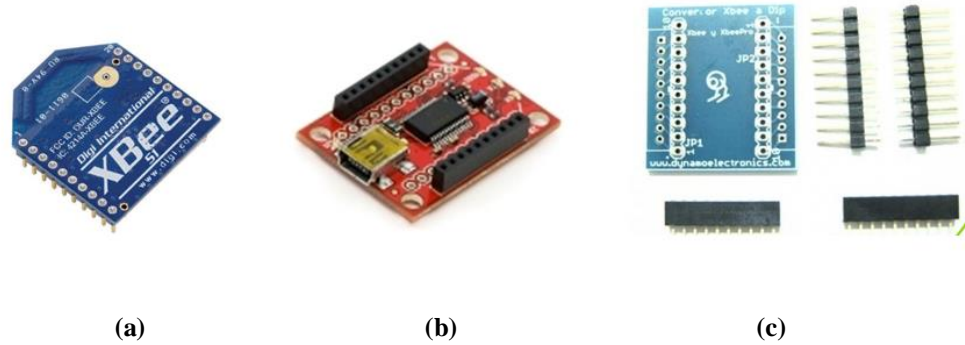
⁵ El Atmega328 AVR 8-bit, es un Circuito integrado de alto rendimiento que está basado un microcontrolador RISC

Figura 4. Tarjeta de desarrollo arduino uno r3, empleada para el análisis de datos.
Fuente [9]



5.2.3. Selección de la tarjeta de comunicación inalámbrica. Después de elegir la tarjeta de procesamiento de datos es necesario evaluar los posibles módulos de comunicación inalámbrica, por lo cual se debe tener en cuenta la compatibilidad con la tarjeta de desarrollo arduino uno r3; se buscó en el mercado el dispositivo más compatible con la tarjeta y con el cual lleve una trayectoria de aplicabilidad, por lo que se decidió por el MODULO XBEE S1 antena PCB XB24-API-001 [14]. El módulo XBEE se encarga de enviar los datos del caudal registrados por el SENSOR DE CAUDAL y procesados por el ARDUINO uno R3; para llevar a cabo este proceso es necesario de contar con diferentes complementos del MÓDULO XBEE S1, como es el MÓDULO XBEE EXPLORER USB [15] y la tarjeta de conversión XBEE A DIP [16], mostrados en la Figura 5.

Figura 5. Tarjeta de comunicación xbee, (a) Módulo xbee s1. Fuente [14], (b) Módulo xbee explorer usb. Fuente [15], (c) Tarjeta de conversión xbee a dip. Fuente [16].



5.2.4. Balance energético. El siguiente balance energético se realiza con el fin de evaluar, la energía que consumirá el sistema; por medio las tablas técnicas de los dispositivos se obtuvo de forma teórica el consumo de energía del sistema y por medio de un multímetro se logró calcular la energía consumida por el sistema de forma práctica, obteniendo los resultados Tabla 2.

Tabla 2. Balance energético potencia suministrada vs potencia consumida de los dispositivos propuestos.

Dispositivo	Consumo Teórico	Consumo Practico
Arduino uno r3	5V-50mA (0,25 W)	5V – 70mA (0,35W)
Xbee	3,3V– (50mA funcionando continuo, 10µA en modo sleep) (0,165 W)	3,3V– (50mA funcionando continuo, 10µA en modo sleep) (0,165 W)
Circuito de control	3,6V – 50mA (0,18 W)	3,6 – 70mA (0.252 W)
TOTAL	0,565 W	0,767 W

La potencia obtenida es para el peor de los casos, que es en el que el módulo xbee se encuentra despierto, dando como resultado una potencia de 767 mW.

5.2.5. Selección del acumulador de energía. Este sistema se implementó para corregir ciertas falencias en el diseño del dispositivo funcional (medidor de caudal), como son:

- Si el flujo en la tubería es menor a 1.5 litros por minuto, en este caso el **MINIGENERADOR HIDROELÉCTRICO** no podría alimentar el sistema de procesamiento y envío de datos.
- Por avería del **MINIGENERADOR HIDROELÉCTRICO**, sin energía que alimente el sistema, este se encontraría apagado y de igual forma no habría procesamiento y envío de datos.

El sistema de almacenamiento de energía surgió como respaldo energético a estos problemas, teniendo en cuenta las necesidades energéticas del proyecto (voltaje y corriente). La elección de la batería se basa principalmente en que entrega la potencia necesaria para el correcto funcionamiento del dispositivo. Para el proyecto se escogió una batería de ion de litio NIKON [17], aunque en el mercado hay gran variedad de baterías que cumplen con las especificaciones deseadas, pero por fiabilidad y reconocimiento y costos se eligió la batería NIKON Figura 6.

Figura 6. bateria de ion de litio nikon. Fuente[17]



La tarjeta **Arduino uno r3**, presenta una entrada de 5 volts para su correcto funcionamiento, lo que nos lleva a elevar la salida del minigenerador hidroeléctrico, para esto se utiliza un elevador de voltaje

5.2.6. Selección del elevador. Para alimentar el sistema de análisis, recepción y envío de datos, es necesario un dispositivo que eleve la tensión de la batería de 3,7 volts a 5 volts sin que disminuya drásticamente la corriente, para evitar futuros errores; aunque un sistema elevador no es de mayor complejidad, se decide usar el dispositivo CONVERTIDOR DC-DC SET-UP ELEVADOR DE TENSIÓN XL6009⁶ de la Figura 7, no tan solo por costos sino por prevenir posibles errores en el desempeño gracias a su estabilidad y exactitud, y el tamaño es ideal para el dispositivo; además en el mercado no se exponen gran variedad de dispositivos elevadores DC-DC, y todos los que se encuentran en el mercado están basados en el mismo modelo.

Figura 7. Convertidor dc-dc set-up elevador de tensión xl6009. Fuente [12]



Según las especificaciones [13], este circuito funciona con una tensión mínima de 3 volts; para asegurar el correcto funcionamiento del dispositivo se ajusta de forma permanente el dispositivo **convertidor dc-dc set-up elevador de tensión xl6009** para elevar la tensión en 5 volts.

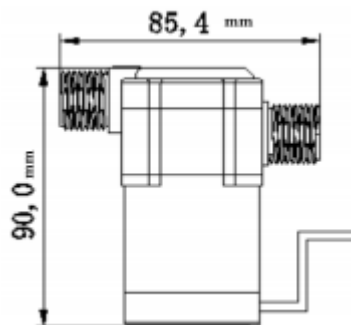
⁶ <https://www.openimpulse.com/blog/wp-content/uploads/wpsc/downloadables/XL6009-Schematic-Diagram.pdf>

5.2.7. Selección del minigenerador eléctrico. Con base en lo consultado y en las necesidades del dispositivo, se definió para la sección de generación de energía eléctrica, un generador que trabaje con un dínamo en tuberías de media pulgada a chorro único y turbina de paleta simple, que trabaje o soporte las presiones máximas de 800 Kpa, que se puedan presentar en una tubería de media pulgada. Siguiendo los parámetros establecidos se encontraron dos opciones que se verán en la **Tabla 3,Tabla 3.** Tabla de selección del generador hidroeléctrico. el principal criterio fue el de cargar la batería del sistema y la fuerza aplicada, ya que la fuerza que tiene el flujo de agua no daría para mover al dinamo, lo que el generador que se usó en este proyecto es el: MINIGENERADOR HIDROELÉCTRICO DE 3.6 V-300Ma [10].

Tabla 3. Tabla de selección del generador hidroeléctrico.

dispositivo	Costo (pesos)	Rango de operación (volt)	Dimensiones (cm)	Fuerza aplicada (Nm)
Dinamo	7000	0-12	15x8x8	0,5
Minigenerador hidroeléctrico	85000	0-3,6	9x8,5x4	0,0009

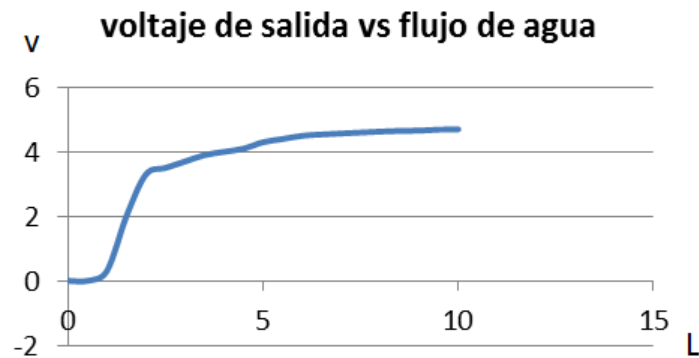
Figura 8. Estructura y dimensionamiento del mini generador hidroeléctrico. Fuente [10].



La carga generada por el minigenerador puede ser mejorada si se toma directamente de la salida del dinamo interno, de esta manera la batería se recibe una mayor carga ya que el dinamo genera de forma directa 4,7v a una corriente 500mA, medidas que se comprobaron por medio experimental usando un multímetro; se usó el siguiente procedimiento para comprobar la capacidad de generación:

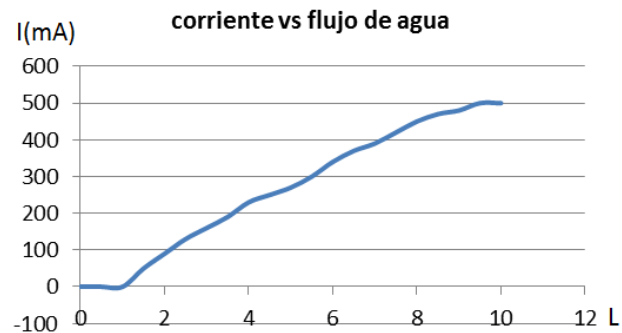
- Se midió el voltaje en los bornes del dinamo, suministrando diferente flujo de caudal y se encontró la Figura 9, que muestra la curva de caracterización del voltaje con respecto al flujo de caudal de agua.

Figura 9. Curva de Caracterización del voltaje del minigenerado hidroeléctrico, después de las modificaciones realizadas



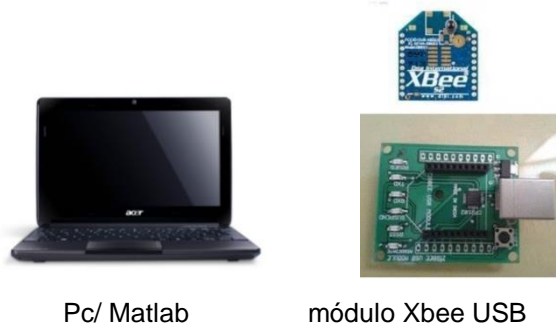
- Para caracterizar la corriente se puso una carga conocida en los bornes del dinamo, y se midió el voltaje dando como resultado la Figura 10 que muestra la gráfica de corriente contra flujo de caudal de agua.

Figura 10. Curva de Caracterización de corriente del minigenerado hidroeléctrico, después de las modificaciones realizadas



5.2.8. Equipo de análisis y procesamiento de datos. Este sistema se encarga de la recepción de los datos, almacenamiento y visualización de los mismos por medio de una interfaz gráfica. Un computador personal, el módulo xbee para recepción de los datos (usb) y una interfaz gráfica realizada en JAVA⁷, el equipo empleado para la recepción y procesamiento de datos se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Equipo para la recepción y procesamiento de datos

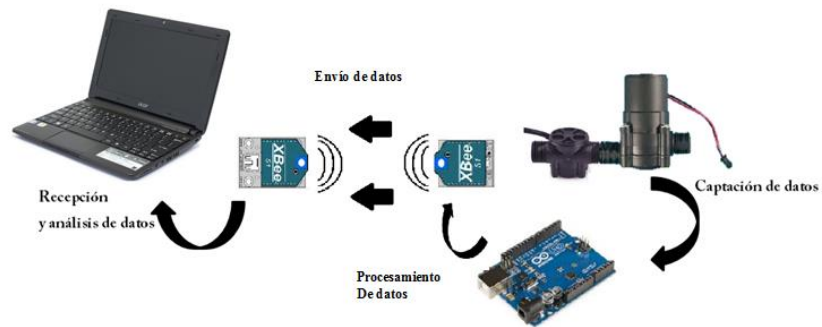


Para la recepción de los datos, se utilizó el módulo xbee usb, el cual se encarga de la comunicación punto a punto con el módulo xbee que se encuentra instalado en el dispositivo medidor de caudal; los datos

⁷ Java es una tecnología que se usa para el desarrollo de aplicaciones que convierten a la Web en un elemento más interesante y útil. Java le permite jugar, cargar fotografías, chatear en línea, realizar visitas virtuales y utilizar servicios como, por ejemplo, cursos en línea, servicios bancarios en línea y mapas interactivos.

capturados por el módulo xbee, son visualizados en tiempo real por una interfaz gráfica, diseñada en java, por último los datos obtenidos se guardan como un archivo ara ser visualizados posterior mente. En la Figura 12, se muestra el diagrama de trabajo que realizan los diferentes componentes del modelo funcional.

Figura 12. Diagrama de trabajo del modelo funcional



5.2.9. Interfaz gráfica. La interfaz gráfica permite visualizar en tiempo real el volumen agua que pasa por el dispositivo medidor de caudal, este se presenta en litros por hora; el desarrollo de la interfaz gráfica para la visualización del caudal se implementó en la plataforma de programación java. La Figura 13, muestra la ventana de la interfaz gráfica que muestra numéricamente y grafica el consumo de agua.

Figura 13. Interfaz gráfica, consumo de caudal



Para realizar la comunicación serial entre el arduino uno r3 y La interfaz gráfica se debe verificar el puerto COM utilizado por la tarjeta arduino para la configuración de la misma. Para interactuar con la tarjeta, desde el entorno de java; primero se debe crear una línea para acceder a la información de puerto de comunicación a la que está conectada la tarjeta, luego de tener conexión con la tarjeta se crea un vector de valores, en el que se almacenan los datos obtenidos de la comunicación arduino-java, este vector es el que se visualizara mediante una ventana, posteriormente se guarda este vector, para su visualización y análisis de consumo. En la Figura 14, se muestra un archivo .txt generado por la interfaz gráfica el cual muestra el consumo de agua registrado por el modelo funcional.

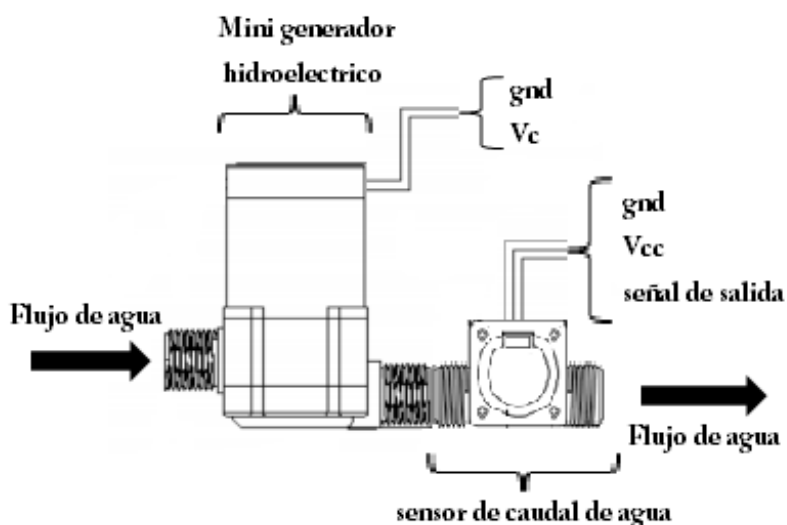
Figura 14. Archivo generado del procesamiento de datos.

```
0.0 1430579250319 0
0.0 1430579251315 0
0.0 1430579252317 0
0.0 1430579253318 0
0.0 1430579254319 0
0.0 1430579255321 0
0.111186944 1430579256324 0
0.40390357 1430579257324 0
0.722337 1430579258325 0
0.9613512 1430579259328 0
1.1806996 1430579260329 0
1.555861 1430579261331 0
1.9643028 1430579262333 0
2.1155775 1430579263335 0
2.1602035 1430579264335 0
2.1602035 1430579265338 0
2.1602035 1430579266340 0
2.1602035 1430579267340 0
2.1602035 1430579268343 0
2.1602035 1430579269344 0
2.1602035 1430579270346 0
2.1602035 1430579271346 0
2.1602035 1430579272348 0
2.1602035 1430579273349 0
2.1602035 1430579274351 0
2.1602035 1430579275352 0
2.1602035 1430579276354 0
2.1602035 1430579277355 0
2.1602035 1430579278357 0
```

6. DISEÑO, CONEXIÓN Y ENSAMBLE DEL PROYECTO

El diseño del modelo funcional se basa en acoplar los diferentes dispositivos, como se mostró en la descripción del dispositivo el flujo de agua potable que pasa por el medidor de flujo, es el mismo que pasa por el mini generador hidroeléctrico, por lo que estos dos dispositivos deben acoplarse directamente. La Figura 15 se muestra como se conectarán el minigenerador hidroeléctrico y el sensor de caudal, estos componentes se conectan en serie para aprovechar el flujo de agua.

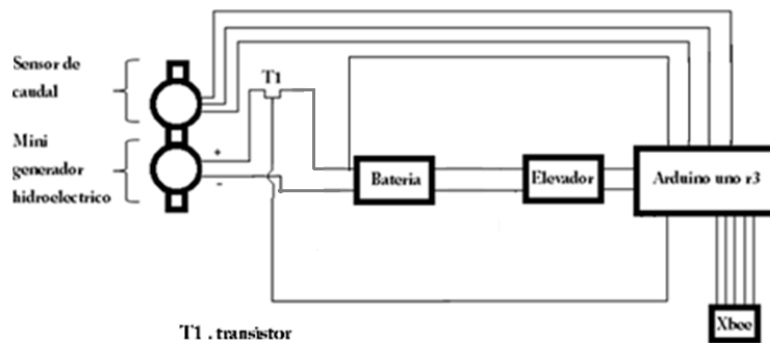
Figura 15. Conexión del minigenerador hidroeléctrico y el sensor de caudal de agua



Los terminales del **minigenerador hidroeléctrico** están conectados a un espejo de corriente el cual funciona como fuente de corriente para la batería, esta se conecta paralelamente al elevador de tensión para alimentar el **Arduino uno r3**, la batería también se encuentra conectada al elevador y por medio de un control se asigna el paso de corriente ya sea directamente del **minigenerador**

hidroeléctrico o de la batería **nikon**. A continuación se muestra la Figura 16, la cual muestra las diferentes conexiones realizadas entre las parte del modelo funcional.

Figura 16. Diseño de la conexión de los componentes del medidor de caudal



El **modulo Xbee** está conectado al arduino por medio de cinco conexiones, las cuales son, dato de entrada, dato de salida, alimentacion, Gnd y el pin de sleep, con este último se puede reducir la potencia consumida de este dispositivo, ya que permite controlar el tiempo en el que esté encendida la xbee.

A continuación se muestra una Tabla 4 con la asignación de los pines usados en la tarjeta arduino uno r3.

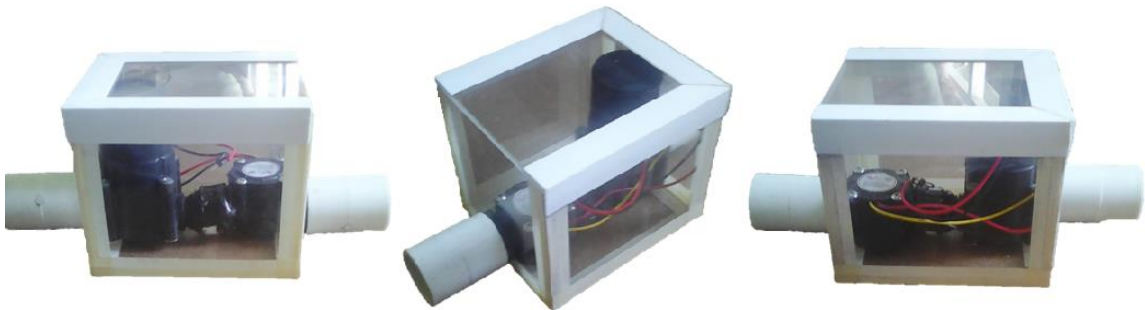
Tabla 4. Asignación de pines del arduino uno r3

PIN	ASIGNACIÓN	FUNCIÓN
2 (Digital)	Dout (Xbee)	Datos de salida del módulo xbee
4 (Digital)	Din (Xbee)	Datos de entrada del módulo xbee
5 (Digital)	Dtr (Xbee)	Para poner en modo sleep el módulo xbee
8 (Digital)	Transistor 1	Controla el flujo de corriente del generador a el espejo de corriente

3 (Digital)	Señal del sensor	Recibe la señal digital del sensor
A0 (análogo)	Ánodo de la batería	Recibe el nivel de carga de la batería
5V (power)	Alimentación del sensor	Alimenta el sensor de flujo
3.3V (power)	Alimentación del módulo Xbee	Alimenta el módulo xbee
GND (power)	Tierra del sistema	La tierra del sistema

El circuito para el control de la carga, descarga de la batería y de alimentación del sistema se realizó en **KICAD**⁸; ANEXO J . En la Figura 17, se muestra el modelo funcional terminado.

Figura 17. Proyecto medidor de caudal



⁸ KiCad es una suite de software de EDA para la creación de esquemas profesionales y placas de circuitos impresos hasta 32 capas de cobre con capas técnicas adicionales. KiCad ejecuta en Windows, Linux y Apple OS X y es liberado bajo la de código abierto GNU GPL v2 de forma gratuita.

7. PRUEBAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

7.1. PRUEBAS DE CONTROL DE GENERACION Y ALMACENAMIENTO DE ENERGIA

Ahora se comprueba si el código de control de alimentación del sistema cumple con los objetivos planteados, por lo que se realizan una serie de pruebas preliminares.

- Transmisión a flujo nominal y batería cargada.
- Transmisión-descarga
- Transmisión-carga

7.1.1. Transmisión a flujo nominal y batería cargada. Para esta prueba se realiza la transmisión de los datos obtenidos por un caudal mayor a 1,5 (L/min) con la batería a carga máxima, para analizar si el sistema de control evita la descarga de la batería cuando por la tubería de media pulgada pasa un caudal nominal.

Tabla 5. Transmisión a flujo nominal y carga de batería

Dato	Caudal (L/h)	Carga de la batería
1	152	3,79
2	152	3,78
3	160	3,79
4	152	3,79
5	144	3,78
6	152	3,78
7	144	3,78
8	144	3,78
9	152	3,74
10	144	3,74
11	152	3,74

12	144	3,71
13	144	3,71
14	152	3,73
15	160	3,73
16	152	3,74
17	168	3,74
18	168	3,73
19	168	3,73
20	160	3,71
21	184	3,72
22	168	3,69
23	192	3,7
24	152	3,71

Al culminar la prueba durante 24h, se observa que la batería no sufrió una descarga significativa, lo cual se debe a la carga continua que brinda el espejo de corriente.

7.1.2. Transmisión-descarga. Para esta preliminar se transmite un caudal menor a 1,5 (L/min) o nulo para comprobar, que a estos caudales, el sistema se encuentra activo por medio de la energía de respaldo (batería) y realiza la transmisión de los datos, así sean nulos.

Tabla 6. Transmisión-descarga

Dato	Caudal (L/h)	Carga de la batería
1	0	3,79
2	0	3,76
3	0	3,75
4	0	3,75
5	0	3,74
6	0	3,74
7	0	3,73
8	0	3,7
9	0	3,69

10	0	3,66
11	0	3,61
12	0	3,6
13	0	3,58
14	0	3,57
15	0	3,54
16	0	3,51
17	0	3,5
18	NaN	3,5
19	NaN	3,5
20	NaN	3,5
21	NaN	3,5
22	NaN	3,5
23	NaN	3,5
24	NaN	3,5

Como se espera los datos se envían correctamente hasta que la batería llega al umbral mínimo después de 17 horas.

7.1.3. Transmisión-carga. Esta prueba permite saber si el minigenerador hidroeléctrico, en conjunto con el espejo de corriente carga la batería, cuando la batería se encuentra en el umbral mínimo, para posteriormente activar el resto del sistema y cumplir con la transmisión de los datos; para lo cual se suministra un caudal constante mayor a 1,5(L/min)

Tabla 7. Transmisión-carga

Dato	Caudal (L/h)	Carga de la batería
1	NaN	3,5
2	NaN	3,5
3	NaN	3,5
4	NaN	3,5
5	NaN	3,52
6	NaN	3,52
7	530	3,53

8	534	3,53
9	534	3,52
10	534	3,53
11	535	3,53
12	536	3,53
13	537	3,54
14	538	3,54
15	539	3,54
16	540	3,54
17	541	3,56
18	542	3,55
19	543	3,55
20	544	3,55
21	545	3,55
22	546	3,56
23	547	3,55
24	534	3,55

Debido a la programación, que tiene como umbral mínimo un valor que al pasar por el elevador es superior al de consumo mínimo del arduino y al espejo de corriente, permiten que la batería sea cargada de forma continua y realice la transmisión de los datos correctamente.

7.2. PRUEBAS DE LABORATORIO

Las pruebas de laboratorio se realizaron en el acueducto metropolitano de Bucaramanga, con las cuales se espera obtener un mejoramiento en el ajuste de la medida del dispositivo; este consta de dos partes, la primera se realiza un ajuste previo y la segunda se compara con un punto de referencia.

7.2.1. Ajuste del medidor. Para el ajuste del proyecto se conectó el medidor de caudal a la banco de medición, buscando comprobar la efectividad del código realizado en el software arduino, el cual está basado en las especificaciones del sensor de caudal, de donde se obtuvo la ecuación para medir el caudal.

$$f = 7Q \text{ donde}$$

f es la frecuencia de $Hz \pm 5\%$ posición horizontal es la tasa de flujo en $Q(\frac{L}{min})$

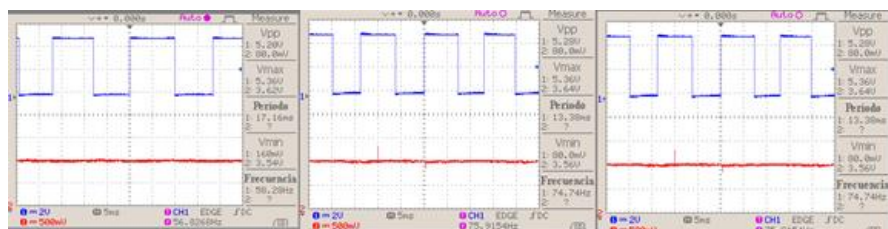
$$Q = \frac{f}{7}$$

Para convertir a $Q(\frac{L}{h})$, multiplicamos por $\frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}}$ conduce a en

$$Q = \frac{60f}{7} \text{ en } \frac{L}{h}$$

La Figura 18 muestra un tren de impulsos generados por el sensor de flujo. El objetivo del código es contar el número de aristas de subida durante un intervalo de 1 segundo.

Figura 18. Señal de salida del sensor de flujo de caudal.



Para calcular un total acumulado del volumen de agua consumida, uno tiene que integrar el flujo durante un período de tiempo. $V = Qt$, donde

- V es el volumen de agua en litros
- t es el periodo de la muestra en 1 segundo
- Q es el flujo de agua

El código no es complicado y la programación para el cálculo de la velocidad de flujo del caudal y de ajuste del mismo es:

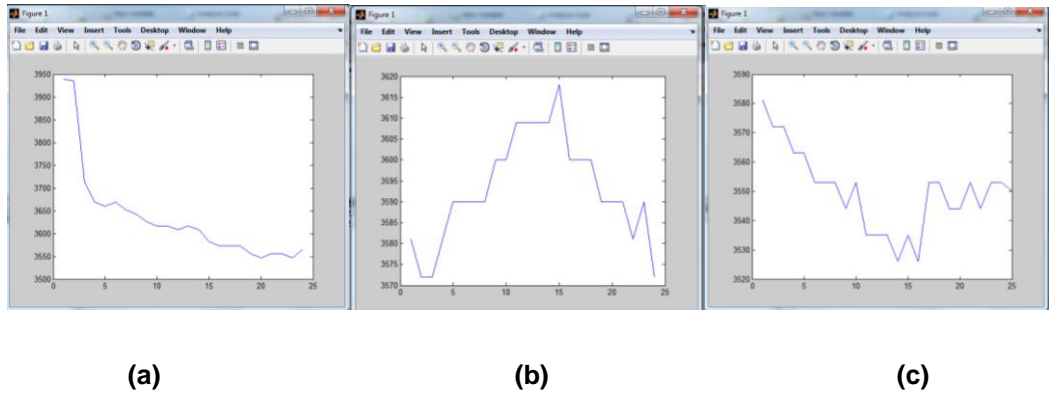
```
void loop()
{
  Calc = ((float)pulserate * 60.0 / 7); // (frecuencia de pulsos x 60) / 7Q, = velocidad de flujo en
L/hour
  LastCalc = (LastCalc*((float)(numCalc)) + Calc)/((float)(numCalc+1));
  numCalc++;
  pulserate = 0; // se ajusta pulserate a 0 para calculos
  sei();          // habilitar interrupciones
  nTick = millis();
  if((nTick - nTickHour) > TIME_SEND)
  {
    unsigned long tm = millis(), t;
    // Habilitar el habilitador (habilitadamente hablando)
    digitalWrite(pin_hab_xbee, LOW);
    // Esperar 500 ms
    do {t = millis(); Battery();} while ((t-tm) < 500); void loop()
    // Esperar 500 ms
    do {t = millis(); Battery();} while ((t-tm) < 500);
```

Con este código se procedió a realizar las pruebas a caudal máximo y caudal mínimo en el banco del acueducto metropolitano de Bucaramanga; para ajustar el código y que quede en un rango aceptable para realizar las prácticas correspondientes.

- **Pruebas de caudal maximo**

Se realizaron tres pruebas de 24 datos cada una, a un flujo de 3500 (L/h), de las cuales se sacó el promedio de cada prueba y se comparó con el valor real del banco de medición, tabla 1 de datos en el anexo A.

Figura 19. Gráficas de caudal máximo sin ajuste del anexo A, (a) prueba 1, (b) prueba 2, (c) prueba 3



El promedio en tres las tres pruebas es:

$$Promedio1 = 3633,93833 \frac{L}{h}$$

$$Promedio2 = 3593,46208 \frac{L}{h}$$

$$Promedio3 = 3550,38625 \frac{L}{h}$$

Y la lectura del banco es de 3500 l/h, lo que nos da un error porcentual de:

$$error1\% = \frac{(3633,93833 - 3500) * 100}{3500} = 3,8268\%$$

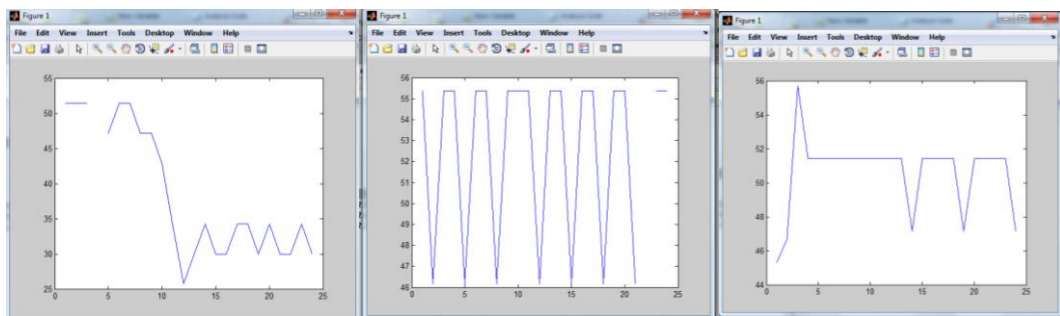
$$error2\% = \frac{(3593,46208 - 3500) * 100}{3500} = 2,6703\%$$

$$error3\% = \frac{(3550,38625 - 3500) * 100}{3500} = 1,4396\%$$

- **Pruebas de caudal mínimo**

Para esta prueba también se tomaron tres veces las pruebas de 24 datos cada una, a un flujo de 60 (L/h) y se muestra en la Figura 20y fueron comparadas con los valores reales del banco de medición (véase tablas 2 del anexo A).

Figura 20. Gráficas de caudal mínimo sin ajuste del anexo A, (a) prueba 1, (b) prueba 2, (c) prueba 3



(a)

(b)

(c)

El promedio total en tres las tres pruebas es:

$$Promedio1 = 38,3851 \frac{L}{h}$$

$$Promedio2 = 52,5752261 \frac{L}{h}$$

$$Promedio3 = 50,6179417 \frac{L}{h}$$

Y la lectura del banco es de 60 l/h, lo que nos da un error porcentual de:

$$error1\% = \frac{(38,3851 - 60) * 100}{60} = 36.02483\%$$

$$error2\% = \frac{(52,5752261 - 60) * 100}{60} = 12,374623\%$$

$$\text{error3\%} = \frac{(50,6179417 - 60) * 100}{60} = 15,636765\%$$

Ahora se procede a realizar una primera modificación del código, para alcanzar valores que sean más cercanos al banco de medidores, y disminuir en lo posible los errores; el código se modifica al variar los valores establecidos por el dispositivo sensor de caudal.

De la ecuación:

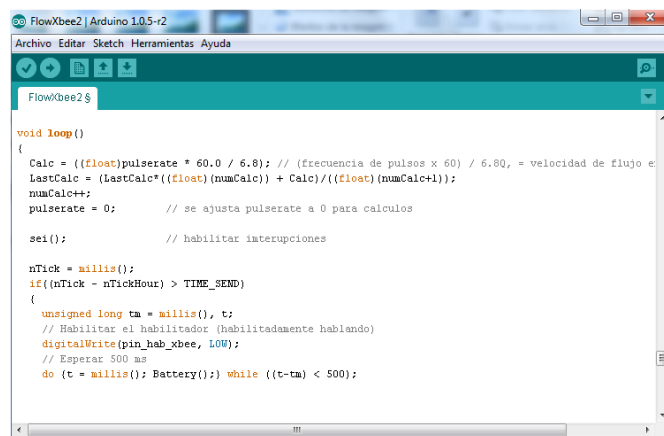
$$Q = \frac{60f}{7} \text{ en } \frac{L}{h}$$

Se varía el valor del parámetro de ajuste (7), para mejorar la medida con el patrón del banco de medidores. Al ajustar este valor, se tiene en cuenta encontrar un punto intermedio, en el que el valor del sensor de caudal se acerque a las medidas de máximos y mínimos del banco de medidores, dando como resultado la ecuación:

$$Q = \frac{60f}{6,8} \text{ en } \frac{L}{h}$$

Y por consiguiente el código se muestra en la Figura 21.

Figura 21. Código para la velocidad de flujo del medidor corregido



```

FlowXbee2 | Arduino 1.0.5-r2
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda

FlowXbee2$

void loop()
{
  Calc = ((float)pulserate * 60.0 / 6.8); // (frecuencia de pulsos x 60) / 6.80, = velocidad de flujo e
  LastCalc = (LastCalc*((float)(numCalc) + Calc)/((float)(numCalc+1)));
  numCalc++;
  pulserate = 0; // se ajusta pulserate a 0 para calculos

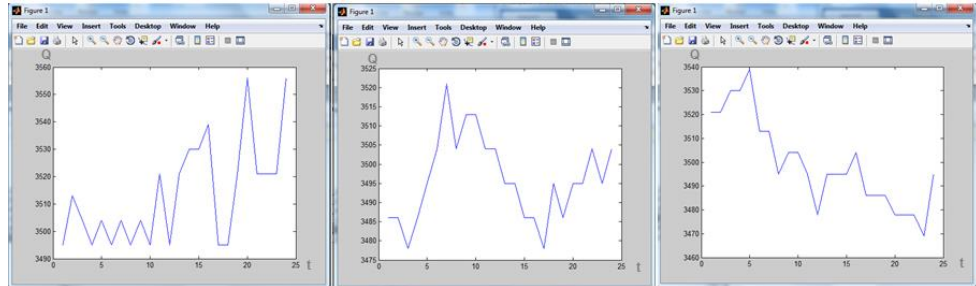
  sei(); // habilitar interrupciones

  nTick = millis();
  if((nTick - nTickHour) > TIME_SEND)
  {
    unsigned long tm = millis(), t;
    // Habilitar el habilitador (habilitadamente hablando)
    digitalWrite(pin_hab_xbee, LOW);
    // Esperar 500 ms
    do {t = millis(); Battery();} while ((t-tm) < 500);
  }
}

```

Por medio de este cambio se logra obtener las tablas 3 de datos del anexo A, para las mismas velocidades de caudal máximas y mínimas. En la Figura 22 se muestran las gráficas del caudal máximo después del ajuste.

Figura 22. Gráficas de caudal máximo después del ajuste del anexo A, (a) prueba 1, (b) prueba 2, (c) prueba 3



(a)

(b)

(c)

El promedio total en tres de las tres pruebas a caudal máximo son:

$$Promedio1 = 3514,12958 \frac{L}{h}$$

$$Promedio2 = 3496,73958 \frac{L}{h}$$

$$Promedio3 = 3499,99958 \frac{L}{h}$$

Y la lectura del banco es de 3500 l/h, lo que nos da un error porcentual de:

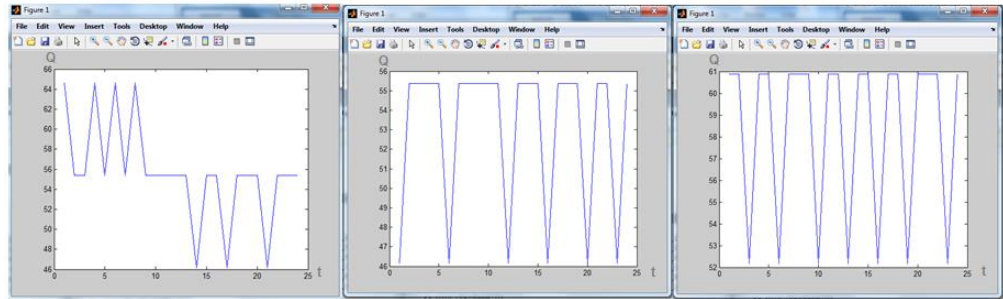
$$error1\% = \frac{(3514,12958 - 3500) * 100}{3500} = 0,4037028\%$$

$$error2\% = \frac{(3496,73958 - 3500) * 100}{3500} = 0,0931542\%$$

$$error3\% = \frac{(3499,99958 - 3500) * 100}{3500} = 0,0000114\%$$

Para caudal mínimo se obtuvieron los datos de la tabla 4 del anexo A, de los cuales se obtuvieron la Figura 23.

Figura 23. Gráficas de caudal mínimo después del ajuste del anexo A, (a) prueba 1, (b) prueba 2, (c) prueba 3



(a)

(b)

(c)

El promedio total en tres las tres pruebas es:

$$Promedio1 = 55,7692167 \frac{L}{h}$$

$$Promedio2 = 53,0769 \frac{L}{h}$$

$$Promedio3 = 58,3333542 \frac{L}{h}$$

Y la lectura del banco es de 60 l/h, lo que nos da un error porcentual de:

$$error1\% = \frac{(55,7692167 - 60) * 100}{60} = 7,0513066\%$$

$$error2\% = \frac{(53,0769 - 60) * 100}{60} = 11,5385\%$$

$$error3\% = \frac{(58,3333542 - 60) * 100}{60} = 2,7777433\%$$

Los errores obtenidos después de la corrección o ajuste en la fórmula son más pequeños o aceptables que al principio, con lo que se espera una mejor y más aproximada captura de datos.

7.2.2. Calibración y análisis de errores. En esta práctica se calibrara el dispositivo medidor de caudal, mediante la medida del error a caudal máximo, mínimo, nominal, transición; como no existe una medida promedio para estos caudales en los contadores, se decidió compara los datos del proyecto con los de un medidor registrado y evaluado por el acueducto según la norma NTC 1063-1.

La elección del medidor de guía fue establecido según la capacidad de medida de nuestro proyecto que se encuentra en un rango de 60 l/h hasta 3500 l/h, por esta razón según las tablas ANEXO G, TIPOS DE MEDIDORES DE AGUA A PROBAR EN BANCO DE CALIBRACIÓN NTC-1063:2007 observamos que el R que trabajaremos es 25 para tubería de ½". De esta forma los caudales a los que se realizaron las pruebas fueron los presentes en la Tabla 8.

Tabla 8. Caudales para medidor R25, Norma NTC-1063:2007

R	Q3(L/h)	RANGO Q3	Q4(L/h)	RANGO Q4	Q2(L/h)	RANGO Q2	Q1(L/h)	RANGO Q1
25	1600	1440	2000	1900	102.4	102.4	64	64
		1600		2000		112.64		70.4

R= rango de medición

Q4= caudal de sobrecarga

Q3= caudal permanente

Q2= caudal de transición

Q1= caudal mínimo

RANGO (Q4, Q3, Q2, Q1)= valores permisibles en los que puede oscilar el caudal. Según la norma NTC-1063:2007 el rango de valores en los que puede oscilar Q1, Q2 y Q3 es de $\pm 5\%$ y Q4 $\pm 2.5\%$.

La presión varía de acuerdo al caudal: para Q1 y Q2 oscila entre 74 y 75 Kpa, para Q3 y Q4 se encuentra en 780 Kpa.

La temperatura siempre se mantuvo en 22.8 °C.

Las pruebas realizadas no presentan la misma cantidad de datos ya que el tiempo de vaciado del tanque varía de prueba a prueba y en algunos casos se modificó el código para obtener menor cantidad de datos.

Ahora se realizan la toma de los datos asociados a los caudales Q1, Q2, Q3 y Q4. Para la realización de la prueba Q1 se tomó 1.2% aproximadamente del valor de caudal con que se realiza la prueba por encima esto quiere decir que se le aplica un caudal de 64.7L para que de esta manera, el caudal oscile entre los rangos permitidos para Q1, de lo cual se obtuvo las pruebas tomadas para el caudal Q1 del anexo B, y la Figura 24:

Prueba 1 para Q1

Figura 24. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q1, prueba 1 del anexo B

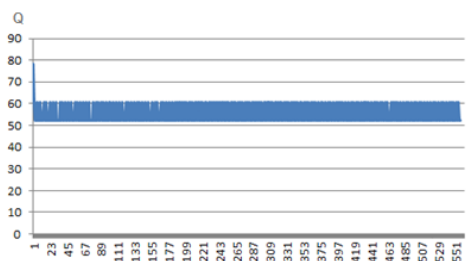


Tabla 9. Datos de la prueba 1, Q1

Prueba	#1 para Q1 tubo de 10L
Tiempo	9'17"
Volumen real	10.015 L
Caudal real	64.62 L/h
Volumen indicado	8.50L
Caudal indicado	54,98L/h

El volumen indicado fue calculado con la ecuación de caudal

$$Q = \frac{V}{t}$$

Dónde:

Q = caudal,

V = volumen,

t = tiempo,

Como tenemos el tiempo y el caudal en cada prueba despejamos el volumen y de esta manera obtenemos el valor del volumen indicado.

$$Vi = Qt$$

Vi = Volumen indicado,

De esta manera calculamos el volumen para la prueba de Q1, Q2, Q3 y Q4.

Según la norma NTC 1063-1:2007 se presentan las siguientes clases de errores:

ERROR DE INDICACIÓN: Volumen indicado menos volumen real.

$$Eind = vi - va$$

Donde

E_{ind} = Error de indicación.

v_i = volumen indicado.

v_a =volumen real.

Para esto se tomó como volumen indicado el volumen dado por el modelo de medidor y el volumen real es el volumen obtenido según la lectura dada por el laboratorio del acueducto de Bucaramanga.

Para la prueba 1 del caudal Q1

$$E_{ind} = 8.50 - 10.015 = -1,515L$$

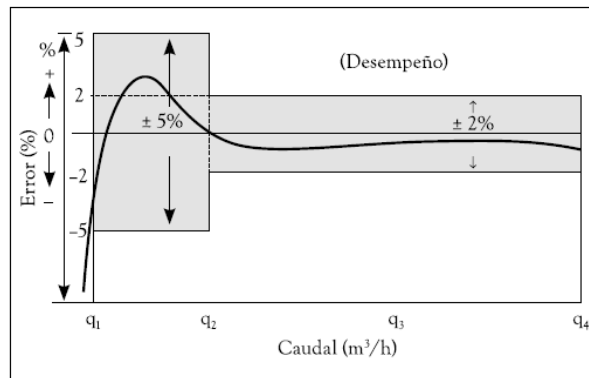
ERROR RELATIVO: Error de indicación dividido por el volumen real, expresado como porcentaje. Con los datos obtenidos nos disponemos a calcular el % Error relativo, definido por la ecuación.

$$\%Error\ relativo = \frac{E_{ind}}{v_a} * 100$$

$$\%Error\ relativo = \frac{8.50 - 10.015}{10.015} * 100 = -15,127309\%$$

ERROR MAXIMO PERMISIBLE (EMP): Los valores extremos del error relativo de la indicación del medidor de agua. Para Q1 es del $\pm 5\%$ y para Q2, Q3, Q4 es del $\pm 2\%$ según la norma NTC 1063-1 y su curva característica se puede observar en la Figura 25.

Figura 25. Curva característica de un medidor de agua potable, tomado de la NTC-1063:2007



Prueba 2 para Q1

Figura 26. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q1, prueba 2 del anexo B

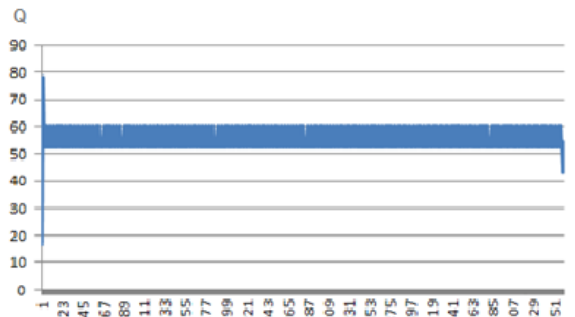


Tabla 10. Datos de la prueba 2, Q1

Prueba	#2 para Q1 tubo de 10L
Tiempo	9'15
Volumen real	10.015L
Caudal real	64.98 L/h
Volumen indicado	8.42L
Caudal indicado	54.62L/h

- $E_{ind} = 8.42 - 10.015 = -1,595L$

- $$\%Error\ relativo = \frac{8.42-10.015}{10.015} * 100 = -15,92611\%$$

Prueba 3 para Q1

Figura 27. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q1, prueba 3 del anexo B

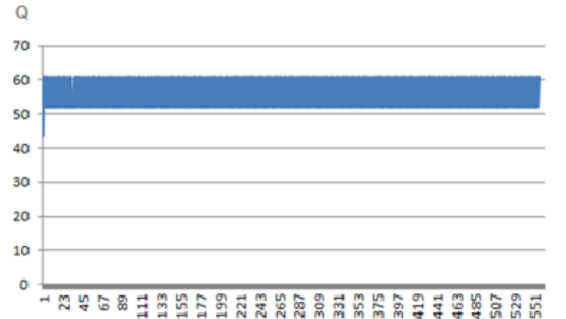


Tabla 11. Datos de la prueba 3, Q1

Prueba	#3 para Q1 tubo de 10L
Tiempo	9'15"
Volumen real	10.02L
Caudal real	64.98L/h
Volumen indicado	8.46L
Caudal indicado	54.91L/h

- $$Eind = 8.46 - 10.02 = -1,56L$$

- $$\%Error\ relativo = \frac{8.46-10.02}{10.02} * 100 = -15,568862\%$$

Tabla 12. Errores relativos de las pruebas Q1

PRUEBA CAUDAL Q1	ERROR DE INDICACIÓN	VOLUMEN REAL	%ERROR RELATIVO
1	-1,51273	10,015	-15,127309
2	-1,5,95	10,015	-15, 92611
3	-1,56	10,02	-15,568862

Tabla 13. Error máximo permisible para Q1

RUEBA CAUDAL Q1	% ERROR MAXIMO PERMISIBLE	% ERROR RELATIVO	CUMPLE CON LA NORMA
1	±5	-15,127309	NO
2	±5	-15,92611	NO
3	±5	-15,568862	NO

En ninguna de las 3 pruebas realizadas cumplió con el error máximo permisible para Q1.

Para Q2 se realizó la prueba tomando un 2% aproximadamente por debajo del caudal indicado, para que el caudal oscilara entre los valores permitidos por la norma. De esta manera el caudal con el que se ejecuto fue de 100.3 L.

Prueba 1 para Q2

Para esta prueba se cambió la cantidad de tiempo en que se realiza el envío de datos, el envío se realiza cada 10 segundos. La Figura 28, muestra las gráficas de las pruebas tomadas para el caudal Q2 del anexo B.

Figura 28. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q2, prueba 1 del anexo B

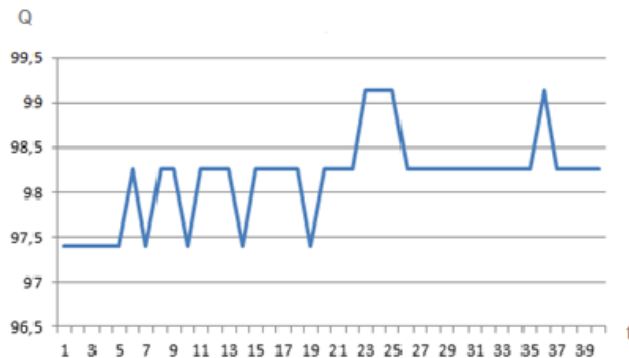


Tabla 14. Datos de la prueba 1, Q2

Prueba	#1 para Q2 tubo de 10L
Tiempo	5'52"
Volumen real	10.015L
Caudal real	102.42 L/h
Volumen indicado	9.603L
Caudal indicado	98,02175L/h

- $E_{ind} = 9,603 - 10,015 = -0,411L$
- $\%Error\ relativo = \frac{9,603-10,015}{10,015} * 100 = -4,109\%$

Prueba 2 para Q2

Figura 29. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q2, prueba 2 del anexo B

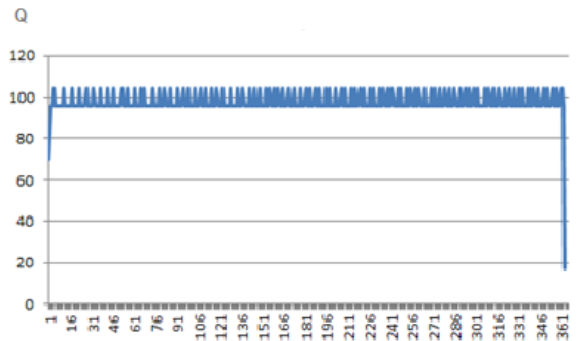


Tabla 15. Datos de la prueba 2, Q2

Prueba	#2 para Q2 tubo de 10L
Tiempo	5'52"
Volumen real	10.05L
Caudal real	102.85L/h
Volumen indicado	9.55L
Caudal indicado	97.64L/h

- $E_{ind} = 9,55 - 10,05 = -0,5L$

- $\%Error\ relativo = \frac{9,55-10,05}{10,05} * 100 = -4,97512\%$

Prueba 3 para Q2

Figura 30. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q2, prueba 3 del anexo B

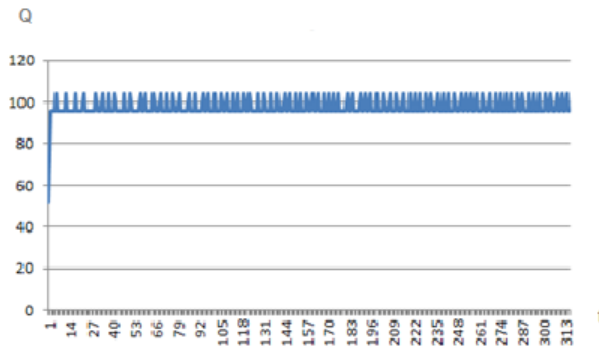


Tabla 16. Datos de la prueba 3, Q2

Prueba	#3 para Q2 tubo de 10L
Tiempo	5'52"
Volumen real	10.02 L
Caudal real	102.49 L/h
Volumen indicado	9.56 L
Caudal indicado	97,77784 L/h

- $E_{ind} = 9,56 - 10,02 = -0,4595L$

- $\%Error\ relativo = \frac{9,56-10,02}{10,02} * 100 = -4,585908\%$

Tabla 17. Errores Relativos de las pruebas Q2

PRUEBA CAUDAL Q2	ERROR DE INDICACIÓN	VOLUMEN REAL	%ERROR RELATIVO
1	-1,51273	10,015	-4,109
2	-1,5,95	10,015	-4,97512
3	-1,56	10,02	-4,585908

Tabla 18. Error máximo permisible para Q2

PRUEBA CAUDAL Q2	% ERROR MAXIMO PERMISIBLE	% ERROR RELATIVO	CUMPLE CON LA NORMA
1	±2	-4,109	NO
2	±2	-4,97512	NO
3	±2	-4,585908	NO

En ninguna de las 3 pruebas realizadas cumplió con el error máximo permisible para Q2.

Para Q3 se realizó la prueba tomando un 2% aproximadamente por debajo del caudal indicado, para que el caudal oscilara entre los valores permitidos por la norma. De esta manera el caudal con el que se ejecuto fue de 1568 L. y los datos obtenidos se observan en la Figura 31.

Prueba 1 para Q3

Figura 31. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q3, prueba 1 del anexo B

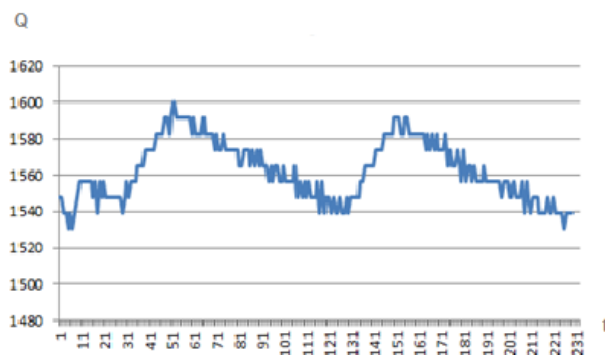


Tabla 19. Datos de la prueba 1, Q3

Prueba	#1 para Q3 tubo de 100L
Tiempo	3'47"
Volumen real	100.35 L
Caudal real	1591.4 L/h
Volumen indicado	98.52 L
Caudal indicado	1562.52 L/h

- $E_{ind} = 98,52 - 100,35 = -1,83L$

- $\%Error\ relativo = \frac{98,52-100,35}{100,35} * 100 = -1.8236173\%$

Prueba 2 para Q3

Figura 32. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q3, prueba 2 del anexo B

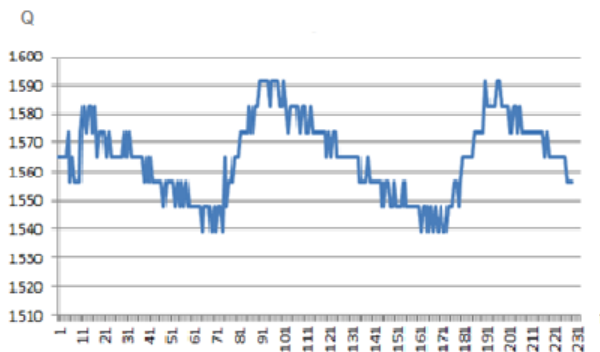


Tabla 20. Datos de la prueba 2, Q3

Prueba	#2 para Q3 tubo de 100L
Tiempo	3'47"
Volumen real	100.3 L
Caudal real	1590.66 L/h
Volumen indicado	98.67 L
Caudal indicado	1564.83L/h

- $E_{ind} = 98,67 - 100,3 = -1,63L$

- $\%Error\ relativo = \frac{98,67-100,3}{100,3} * 100 = -1.6251246\%$

Prueba 3 para Q3

Figura 33. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q3, prueba 3 del anexo B

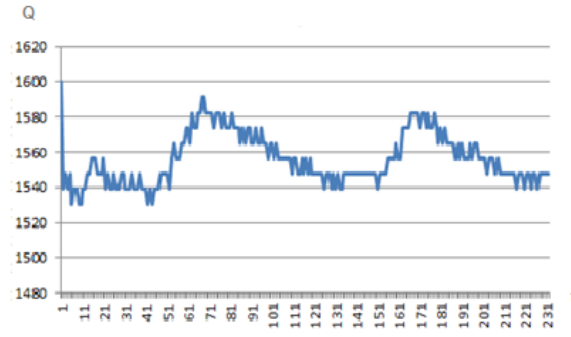


Tabla 21. Datos de la prueba 3, Q3

Prueba	#3 para Q3 tubo de 100L
Tiempo	3'48"
Volumen real	100.5 L
Caudal real	1586.84 L/h
Volumen indicado	98.56 L
Caudal indicado	1556.26 L/h

- $E_{ind} = 98,56 - 100,5 = -1,94L$
- $\%Error\ relativo = \frac{98,56-100,5}{100,5} * 100 = -1.9303482\%$

Tabla 22. Errores Relativos de las pruebas Q3

PRUEBA CAUDAL Q3	ERROR DE INDICACIÓN	VOLUMEN REAL	%ERROR RELATIVO
1	-1,51273	10,015	-1,823617
2	-1,5,95	10,015	-1,6241246
3	-1,56	10,02	-1,930348

Tabla 23. Error máximo permisible para Q3

PRUEBA CAUDAL Q3	% ERROR MAXIMO PERMISIBLE	% ERROR RELATIVO	CUMPLE CON LA NORMA
1	±2	-1,823617	SI
2	±2	-1,6241246	SI
3	±2	-1,930348	SI

En las 3 pruebas realizadas se observa que están en el rango del error máximo permisible para Q3.

Para Q4 se realizó la prueba tomando un 2% aproximadamente por debajo del caudal indicado, para que el caudal oscilara entre los valores permitidos por la norma. De esta manera el caudal con el que se ejecuto fue de 1960 L. en la Figura 34, se grafican los datos obtenidos para el caudal Q4.

Prueba 1 para Q4

Figura 34. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q4, prueba 1 del anexo B

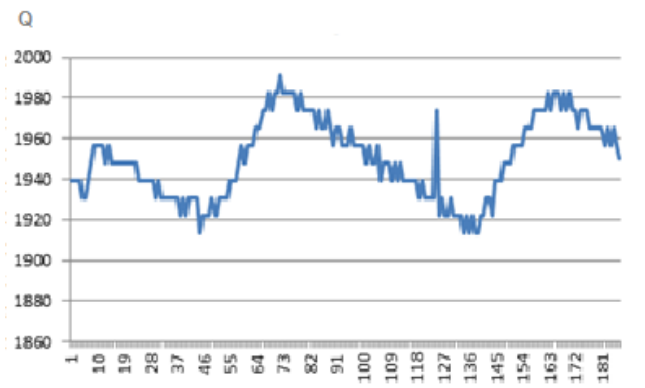


Tabla 24. Datos de la prueba 1, Q4

Prueba	#1 para Q4 tubo de 100L
Tiempo	3'03"
Volumen real	101L
Caudal real	1986.88 L/h
Volumen indicado	98,6858L
Caudal indicado	1941,3619 L/h

- $Eind = 98,6858 - 101 = -2,3141L$
- $\%Error\ relativo = \frac{98,6858-101}{101} * 100 = -2,291257\%$

Prueba 2 para Q4

Figura 35. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q4, prueba 2 del anexo B

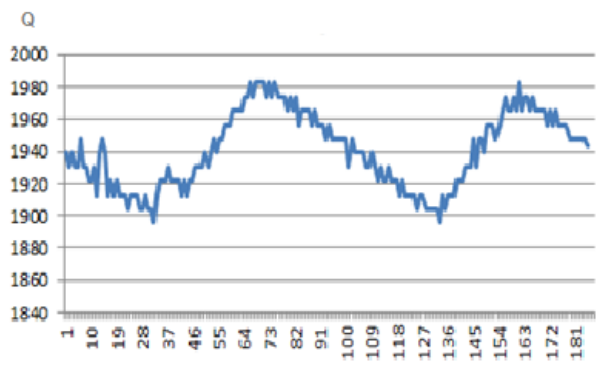


Tabla 25. Datos de la prueba 2, Q4

Prueba	#2 para Q4 tubo de 100L
Tiempo	3'03"
Volumen real	101.5L
Caudal real	1996.72L/h
Volumen indicado	98.64L
Caudal indicado	1940.61L/h

- $Eind = 98,64 - 101,5 = -2,86L$

- $$\%Error\ relativo = \frac{98,64 - 101,5}{101,5} * 100 = -2,8177339\%$$

Prueba 3 para Q4

Figura 36. Grafica de las pruebas tomadas para el caudal Q4, prueba 3 del anexo B

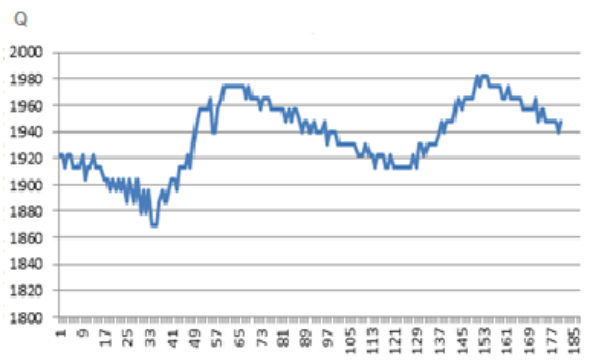


Tabla 26. Datos de la prueba 3, Q4

Prueba	#3 para Q4 tubo de 100L
Tiempo	3'03"
Volumen real	100.9L
Caudal real	1984.91L/h
Volumen indicado	98.42L
Caudal indicado	1936.15L/h

- $$E_{ind} = 98,42 - 100,9 = -2,48L$$

- $$\%Error\ relativo = \frac{98,64 - 100,9}{100,9} * 100 = -2,457879\%$$

Tabla 27. Errores Relativos de las pruebas Q4

PRUEBA CAUDAL Q4	ERROR DE INDICACIÓN	VOLUMEN REAL	%ERROR RELATIVO
1	-1,51273	10,015	-2,291257
2	-1,5,95	10,015	-2,8177339
3	-1,56	10,02	-2,457879

Tabla 28. Error máximo permisible para Q4

PRUEBA CAUDAL Q4	% ERROR MAXIMO PERMISIBLE	% ERROR RELATIVO	CUMPLE CON LA NORMA
1	±2	-2,291257	NO
2	±2	-2,8177339	NO
3	±2	-2,457879	NO

En las 3 pruebas realizadas se observa que ninguna de estas se encuentran en el rango del error máximo permisible para Q4.

7.3. AJUSTE A LA SENSIBILIDAD DEL SENSOR

Como principal objetivo es el de mejorar la sensibilidad del sensor de caudal y llegar a estar en el rango de un medidor residencial; lo cual se realizara instalando un tubo Bernoulli, el cual aumente la velocidad de flujo de agua, con lo cual aumenta la sensibilidad del flujo mínimo del sensor.

Para esta prueba se instaló una boquilla a la entrada del sensor, con la cual la velocidad de caudal aumenta registrando valores más pequeños de caudal. Además para no alterar las pruebas de análisis de errores realizadas en el acueducto metropolitano de Bucaramanga, se cambia la ecuación original multiplicándola por una constante proporcional que no altere el error calculado.

$$Q_{entrada} = Q_{salida}$$

$$Q_{entrada} = \frac{f*60}{6,8} L/h \quad Q_{salida} = \frac{f_{salida}*60}{6,8} * c \left(\frac{L}{h}\right)$$

Para un volumen de 10 litros el caudal de entrada se demora 0,0977777 horas, y para los mismos 10 litros el caudal de salida tarda 0.06611111 horas ANEXO H; de lo cual podemos hallar una nueva ecuación que presente el mismo rango de error de la anterior.

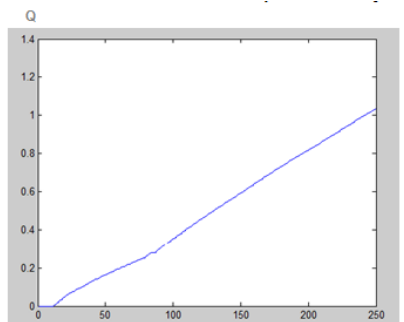
$$c = \frac{0,06611111}{0,0977777} = 0,6761416$$

Por consiguiente la ecuación quedaría:

$$Q_{salida} = \frac{f_{salida} * 60}{6,8} * 0,6761416 \left(\frac{L}{h}\right)$$

De igual forma se implementa esta ecuación en el programa. Ahora se comprueba el incremento de la sensibilidad del dispositivo; en el ANEXO I se presenta la tabla de valores de caudal mínimo, y en la Figura 37 se muestra su respectiva grafica.

Figura 37. Grafica de caudal mínimo después de ajuste de sensibilidad



En la prueba se dejó pasar un litro de agua a flujo mínimo y se midió el tiempo, con el volumen y el tiempo se logra sacar el caudal mínimo que puede leer el dispositivo. El tiempo que transcurrió al pasar el litro de agua fue de 0,0663888 horas y su caudal es:

$$Q = \frac{1}{0,066388} \left(\frac{L}{h}\right) = 15,06278 \left(\frac{L}{h}\right)$$

Con lo que se asegura que se cumplió con el ajuste del sensor.

7.4. PRUEBAS DE RANGO DE TRANSMISIÓN

Para realizar las pruebas de rango de transmisión, fue necesario situar el dispositivo en el lugar donde se encuentran instalados los medidores residenciales; las pruebas se basan en poner a funcionar el dispositivo e ir alejando el receptor y hallar la distancia en la cual el dispositivo deja de transmitir de forma correcta.

Tabla 29. Rango de transmisión del dispositivo

Metros	Prueba 1 (L)	Prueba 2 (L)	Prueba 3 (L)
1	0,733683	0,260949	0
2	10,5363	0,260949	0
3	14,4543	0,260949	0,62779
4	15,1729	0,41071	0,805538
5	15,8838	0,446261	1,26693
6	16,5797	0,841088	4,72582
7	16,5797	1,26693	7,67644
8	16,5797	2,14886	11,8395
9	16,5797	3,71304	14,6372
10	16,9276	4,96559	NaN
11	NaN	5,57674	NaN
12	NaN	NaN	NaN
13	NaN	NaN	NaN

14	NaN	NaN	NaN
15	NaN	NaN	NaN

Según las pruebas aplicadas al dispositivo, el rango de transmisión que posee el dispositivo se encuentre en el rango de 10 metros, este rango es nominal ya que las tarjetas xbee empleadas para el dispositivo no tienen antena y entre mejor sea la antena mayor será el rango de transmisión.

8. CONCLUSIONES

Se realizó un modelo funcional, para la medición de caudal en agua en tubería de media pulgada, con autonomía energética y se estableció que el caudal que pasa por la tubería genera la suficiente energía para la alimentación del dispositivo lo cual se probó con el balance energético mencionado anteriormente.

Se propuso un mini-generador para la correcta alimentación de la batería conformando la etapa de generación y almacenamiento de energía, esta etapa se pone a prueba bajo diferentes pruebas de consumo, estableciendo una autonomía de 17 horas, tiempo necesario para que sea remplazada si presenta alguna anomalía sin pérdidas de datos. También se comprobó y se probó la escogencia del dispositivo de transmisión de datos el cual da un rango de 90 metros en vista directa, sin obstáculos, en este modelo funcional el cual va a emular a un medidor de agua domiciliario, el cual se encuentra cubierto de una tapa metálica, se reduce a 10 metros.

Para la calibración del modelo funcional se tiene en cuenta como se explicó anteriormente se propuso una tarjeta de desarrollo arduino, la cual permite utilizar el lenguaje de programación como C++, se programó de tal manera que fuera fácil el cambio de parámetros para la calibración del modelo funcional. También cabe destacar que la tarjeta de desarrollo realiza el procesamiento y manejo de datos para su transmisión, estos datos llegan al receptor el cual se encarga de almacenarlos de forma ordenada. Las pruebas realizadas en el acueducto metropolitano de Bucaramanga demuestran la funcionalidad del modelo; los resultados de la medida de consumo de agua que se obtuvieron son muy similares a los registrados por el banco de medición; por lo que se concluye que el trabajo de grado cumple con el objetivo de medición digital del caudal de agua.

La interfaz diseñada permitió la captura de datos en tiempo real. Además ayudó a que se pudiera visualizar el comportamiento del consumo de agua, y llevar un

registro digital, la interfaz se comunica con la tarjeta de desarrollo, gracias a la comunicación punto a punto en te las tarjetas xbee.

Este trabajo de grado se presenta como una alternativa para el registro de caudal de manera remota y con generación autónoma, para el almacenamiento y envío de datos. En la universidad industrial de Santander no se había presentado ningún trabajado ni investigación sobre esta tecnología, lo cual da un punto de partida para el desarrollo de estos medidores a nivel nacional, ya que lleva varios años siendo implementada a nivel mundial. Este dispositivo funcional de medidor de caudal genera un impacto positivo frente al área de medición de caudal.

9. TRABAJOS FUTUROS

Los trabajos futuros propuestos para este trabajo de grado, permiten ampliar las funciones y mejorar el funcionamiento del dispositivo, innovando la medición y captación de agua residencial; como principal objetivo se espera corregir el error de medición, para lograr que el dispositivo este a la par con un medidor residencial; lo cual se consigue corrigiendo la ecuación fundamental del dispositivo, añadiendo una ecuación en función del error de medición.

Como objetivos secundarios se recomienda elaborar un sistema de alarmas, que permita saber al operario, si el dispositivo tiene un mal funcionamiento, para esto es necesario implementar una serie de luces de bajo consumo.

Con las múltiples alternativas que permite el dispositivo, se sugiere implementar una memoria externa, que permita guardar el valor del consumo si el dispositivo presente una falla o avería; además de instalar una pantalla de visualización de la medida del agua consumida.

El desarrollo del proyecto se realizó bajo la aplicación del software libre de arduino, el cual por medio de una interfaz gráfica proporcionada por java, permite la visualización del caudal; este último proceso, el de visualización de los datos se recomienda mejoras en la forma de visualización de los datos.

Por último se recomienda cambiar los diferentes dispositivos por las nuevas mejoras que existan en el mercado, las cuales consumen menor potencia, tienen mejor sensibilidad, y mayor desempeño.

CITAS

- [1]. EXION. Administración y medición del agua. Medidores de agua potable [en línea]. [Fecha de consulta: febrero 14 de 2013]. Disponible en: <http://www.exion.com.ar/micromedidores.php>
- [2]. ZENNER. Contadores de agua vía radio mnk-rdm [en línea]. [Fecha de consulta: febrero 16 de 2013]. Disponible en: http://www.zenner.es/categorias/categorias/productos_sistemas_inalambricos.html
- [3]. BTP MEDIDORES Y ASCESORIOS. Sistema prepago en medidores de agua BTP Medidores y Accesorios fabricante y proveedor. [En línea]. [Fecha de consulta marzo 27 del 2013]. Disponible en: <http://www.btp.com.co/index.php/sistema-prepago-en-medidores-de-agua>
- [4]. ALCOR CABRERIZO, Enrique. Instalaciones solares fotovoltaicas. Pujol & Amado S L L, 2002 - 271 páginas
- [5]. DÍAZ ORTIZ, Jaime Ernesto. Mecánica de Fluidos e Hidráulica, Colombia: Universidad del Valle, 2006.
- [6]. GARCÍA GUTIÉRREZ, Luis. Teoría de la medición de caudales y volúmenes de agua e instrumental necesario disponible en el mercado [en línea]. [Fecha de consulta: febrero 10 de 2014], Disponible en: http://www.igme.es/actividadesigme/lineas/HidroyCA/publica/libros2_TH/art2/pdf/teoria.pdf

- [7]. ACEDO SANCHEZ, Jose. Instrumentación y Control Avanzado de Procesos, ESPAÑA: Ediciones Díaz de Santos, 2006.
- [8]. GARCIA RUIZ, Alejandro. Sistemas de generación de energía. Pereira: Universidad tecnológica de Pereira, 2008.
- [9]. ARDUINO. Arduino uno r3 [en línea]. [Fecha de consulta marzo 20 del 2014]. Disponible en: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- [10]. SEEED STUDIO WORKS. Micro hydro generador [en línea]. [Fecha de consulta: octubre 23 de 2013]. Disponible en: <http://www.seeedstudio.com/depot/datasheet/micro%20hydro%20generato r%20datasheet-1.pdf>
- [11]. SEEED STUDIO WORKS. Sensor de flujo de agua, Datasheet [en línea]. [Fecha de consulta: noviembre 03 de 2013]. Disponible en: http://www.seeedstudio.com/wiki/images/b/b7/Water_flow_sensor_datasheet.pdf
- [12]. KYLINCHIP ELECTRONIC. XL6009 Step-up Power Module DC-DC convertidor Boost [en línea]. [Fecha de consulta: enero 14 de 2014]. Disponible en: <http://www.haoyuelectronics.com/Attachment/XL6009/XL6009-DC-DC-Converter-Datasheet.pdf>
- [13]. HAOYUELECTRONICS, XL6009 Step-up Power Module DC-DC convertidor Boost, Datasheet [en línea]. [Fecha de consulta: enero 14 de 2014]. Disponible en: [https://www.openimpulse.com/blog/wpcontent/uploads/wpsc/downloadables/XL6009-DC-DC-Converter-Datasheet.pdf](https://www.openimpulse.com/blog/wpcontent/uploads/wpcontent/uploads/wpsc/downloadables/XL6009-DC-DC-Converter-Datasheet.pdf)

- [14]. DIGI INTERNATIONAL INC, XBee/XBee-PRO RF Modules, Datasheet [en línea]. [Fecha de consulta: noviembre 05 de 2013]. Disponible en: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet.pdf>
- [15]. SIGMA ELECTRONICA, Tarjeta xbee explorer [en línea]. [Fecha de consulta: noviembre 05 de 2013]. Disponible en: <http://www.sigmaelectronica.net/manuals/TARJETA%20XBEE%20EXPLORER.pdf>
- [16]. DYNAMO ELECTRONICS, Tarjeta conversora de xbee a dip [en línea]. [Fecha de consulta: noviembre 05 de 2013]. Disponible en: <http://www.robotica.co/tienda/tienda-online/612/123/nuevos-productos/tarjeta-conversora-de-xbee-a-dip-detail.html>
- [17]. NIKON, Batería EN-EL19 [en línea]. [Fecha de consulta: diciembre 03 de 2013]. Disponible en: http://www.nikon.es/es_ES/product/accessories/coolpix/coolpix-power/batteries/battery-en-el19
- [18]. NWM Medición España: contadores mecánicos [en línea]. [Fecha de consulta: febrero 15 de 2014]. Disponible en: <http://www.nwmcontadores.com/sistemas>

BIBLIOGRAFIA

ACEDO SANCHEZ, Jose. Instrumentación y Control Avanzado de Procesos, ESPAÑA: Ediciones Díaz de Santos, 2006.

COUCH, Leon W. Sistemas de comunicación digitales y analógicos, México: Pearson Educación, 2008.

FLICKENGER, Rob. Redes inalámbricas en los países en desarrollo. LONDRES: limehouse book sprint team. 2007.

GARCÍA GUTIÉRREZ, Luis. Teoría de la medición de caudales y volúmenes de agua e instrumental necesario disponible en el mercado [en línea]. [Fecha de consulta: febrero 10 de 2014], Disponible en: http://www.igme.es/actividadesigme/lineas/HidroyCA/publica/libros2_TH/art2/pdf/teoria.pdf

HAYKIN, Simon S. Digital communications, New York: John Wiley, 1988.

MOTT, Robert I. Mecanica de fluidos, Mexico: Pearson educacion, 2006.

NEGRETE, Valera. AGUSTIN, Jose Pedro. Apuntes de Física General, Mexico: UNAM, 2005.

PERALES BENITO, Tomas. El Eniverso de las Energias Renovables, Barcelona: Marcombo, 2012. Seccion 20.

RAMON PALLAS, areny. Sensores y acondicionamiento de señal. Barcelona: marcombo, C1998.

SANZ, Jose Francisco. Energia Hidroelecctrica, ESPAÑA: Universidad de Zaragoza, 2008.

ANEXOS

ANEXO A.

AJUSTE DEL MEDIDOR

Tabla 1. Pruebas de caudal máximo sin ajuste

Numero de datos	Flujo de agua medida (l/h) máximo prueba 1	Flujo de agua medida (l/h) máximo prueba 2	Flujo de agua medida (l/h) máximo prueba 3
1	3939,79	3581,54	3581,54
2	3935,59	3572,31	3572,31
3	3713,04	3572,31	3572,31
4	3669,57	3581,54	3563,08
5	3660,87	3590,77	3563,08
6	3669,57	3590,77	3553,85
7	3652,17	3590,77	3553,85
8	3643,48	3590,77	3553,85
9	3626,09	3600	3544,62
10	3617,39	3600	3553,85
11	3617,39	3609,23	3535,38
12	3608,7	3609,23	3535,38
13	3617,39	3609,23	3535,38
14	3608,7	3609,23	3526,15
15	3582,61	3618,46	3535,38
16	3573,91	3600	3526,15
17	3573,91	3600	3553,85
18	3573,91	3600	3553,85
19	3556,52	3590,77	3544,62
20	3547,83	3590,77	3544,62
21	3556,52	3590,77	3553,85
22	3556,52	3581,54	3544,62
23	3547,83	3590,77	3553,85
24	3565,22	3572,31	3553,85
Promedio total	3633,93833	3593,46208	3550,38625

Tabla 2. Pruebas de caudal mínimo sin ajuste

Numero de datos	Flujo de agua medida (l/h) mínimo prueba 1	Flujo de agua medida (l/h) mínimo prueba 2	Flujo de agua medida (l/h) mínimo prueba 3
1	51,4286	55,3846	45,3061
2	51,4286	46,1538	46,6667
3	51,4286	55,3846	55,7143
4	NaN	55,3846	51,4286
5	47,1429	46,1538	51,4286
6	51,4286	55,3846	51,4286
7	51,4286	55,3846	51,4286
8	47,1429	46,1538	51,4286
9	47,1429	55,3846	51,4286
10	42,8571	55,3846	51,4286
11	34,2857	55,3846	51,4286
12	25,7143	46,1538	51,4286
13	30	55,3846	51,4286
14	34,2857	55,3846	47,1429
15	30	46,1538	51,4286
16	30	55,3846	51,4286
17	34,2857	55,3846	51,4286
18	34,2857	46,1538	51,4286
19	30	55,3846	47,1429
20	34,2857	55,3846	51,4286
21	30	46,1538	51,4286
22	30	NaN	51,4286
23	34,2857	55,3846	51,4286
24	30	55,3846	47,1429
Promedio total	38,3851	52,5752261	50,6179417

Tabla 3. Pruebas de caudal máximo con ajuste

Numero de datos	Flujo de agua medida (l/h) máximo prueba 1	Flujo de agua medida (l/h) máximo prueba 2	Flujo de agua medida (l/h) máximo prueba 3
1	3495,65	3486,96	3521,74
2	3513,04	3486,96	3521,74
3	3504,35	3478,26	3530,43
4	3495,65	3486,96	3530,43
5	3504,35	3495,65	3539,13
6	3495,65	3504,35	3513,04
7	3504,35	3521,74	3513,04
8	3495,65	3504,35	3495,65
9	3504,35	3513,04	3504,35
10	3495,65	3513,04	3504,35
11	3521,74	3504,35	3495,65
12	3495,65	3504,35	3478,26
13	3521,74	3495,65	3495,65
14	3530,43	3495,65	3495,65
15	3530,43	3486,96	3495,65
16	3539,13	3486,96	3504,35
17	3495,65	3478,26	3486,96
18	3495,65	3495,65	3486,96
19	3521,74	3486,96	3486,96
20	3556,52	3495,65	3478,26
21	3521,74	3495,65	3478,26
22	3521,74	3504,35	3478,26
23	3521,74	3495,65	3469,57
24	3556,52	3504,35	3495,65
Promedio total	3514,12958	3496,73958	3499,99958

Tabla 4. Pruebas de caudal mínimo con ajuste

Numero de datos	Velocidad de flujo de agua medida (l/h) mínimo prueba 1	Velocidad de flujo de agua medida (l/h) mínimo prueba 2	Velocidad de flujo de agua medida (l/h) mínimo prueba 3
1	64,6154	46,1538	60,8696
2	55,3846	55,3846	60,8696
3	55,3846	55,3846	52,1739
4	64,6154	55,3846	60,8696
5	55,3846	55,3846	60,8696
6	64,6154	46,1538	52,1739
7	55,3846	55,3846	60,8696
8	64,6154	55,3846	60,8696
9	55,3846	55,3846	60,8696
10	55,3846	55,3846	52,1739
11	55,3846	55,3846	60,8696
12	55,3846	46,1538	60,8696
13	55,3846	55,3846	52,1739
14	46,1538	55,3846	60,8696
15	55,3846	55,3846	60,8696
16	55,3846	46,1538	52,1739
17	46,1538	55,3846	60,8696
18	55,3846	55,3846	60,8696
19	55,3846	55,3846	52,1739
20	55,3846	46,1538	60,8696
21	46,1538	55,3846	60,8696
22	55,3846	55,3846	60,8696
23	55,3846	46,1538	52,1739
24	55,3846	55,3846	60,8696
Promedio total	55,7692167	53,0769	58,3333542

ANEXO B.

CALIBRACIÓN Y ANÁLISIS DE ERRORES

La toma de los datos asociados a los caudales Q1, Q2, Q3 y Q4.

Para la realización de la prueba se tomó 1.2% aproximadamente del valor de caudal con que se realiza la prueba por encima esto quiere decir que se le aplica un caudal de 64.7L para que de esta manera, el caudal oscile entre los rangos permitidos para Q1 la prueba sea válida.

Tabla 1. Pruebas tomadas para el caudal Q1

Dato	Prueba 1 para Q1	Prueba2 para Q1	Prueba3 para Q1
1	78,2609	17,3913	43,4783
2	60,8696	78,2609	60,8696
3	52,1739	52,1739	60,8696
4	52,1739	52,1739	52,1739
5	52,1739	52,1739	52,1739
6	60,8696	60,8696	60,8696
7	52,1739	52,1739	52,1739
8	52,1739	52,1739	52,1739
9	52,1739	60,8696	52,1739
10	60,8696	52,1739	60,8696
11	52,1739	52,1739	52,1739
12	52,1739	52,1739	52,1739
13	52,1739	60,8696	60,8696
14	52,1739	52,1739	52,1739
15	60,8696	52,1739	52,1739
16	52,1739	52,1739	52,1739
17	52,1739	60,8696	60,8696

18	60,8696	52,1739	52,1739
19	52,1739	52,1739	52,1739
20	52,1739	60,8696	60,8696
21	52,1739	52,1739	52,1739
22	60,8696	52,1739	52,1739
23	52,1739	60,8696	52,1739
24	52,1739	52,1739	60,8696
25	52,1739	52,1739	52,1739
26	60,8696	60,8696	52,1739
27	52,1739	52,1739	60,8696
28	52,1739	52,1739	52,1739
29	52,1739	52,1739	52,1739
30	60,8696	60,8696	52,1739
31	52,1739	52,1739	60,8696
32	52,1739	52,1739	52,1739
33	52,1739	60,8696	52,1739
34	52,1739	52,1739	52,1739
35	60,8696	52,1739	60,8696
36	52,1739	52,1739	52,1739
37	52,1739	60,8696	52,1739
38	60,8696	52,1739	60,8696
39	52,1739	52,1739	52,1739
40	52,1739	52,1739	52,1739
41	52,1739	60,8696	60,8696
42	60,8696	52,1739	52,1739
43	52,1739	52,1739	52,1739
44	52,1739	52,1739	52,1739
45	52,1739	60,8696	60,8696
46	60,8696	52,1739	52,1739
47	52,1739	52,1739	52,1739
48	52,1739	60,8696	60,8696
49	52,1739	52,1739	52,1739
50	60,8696	52,1739	52,1739
51	52,1739	52,1739	52,1739
52	52,1739	60,8696	60,8696
53	52,1739	52,1739	52,1739
54	52,1739	52,1739	52,1739
55	60,8696	52,1739	52,1739

56	52,1739	60,8696	60,8696
57	52,1739	52,1739	52,1739
58	60,8696	52,1739	52,1739
59	52,1739	52,1739	60,8696
60	52,1739	60,8696	52,1739
61	52,1739	52,1739	52,1739
62	60,8696	52,1739	52,1739
63	52,1739	60,8696	60,8696
64	52,1739	52,1739	52,1739
65	52,1739	52,1739	52,1739
66	60,8696	52,1739	60,8696
67	52,1739	52,1739	52,1739
68	52,1739	60,8696	52,1739
69	52,1739	52,1739	60,8696
70	60,8696	52,1739	52,1739
71	52,1739	60,8696	52,1739
72	52,1739	52,1739	52,1739
73	60,8696	52,1739	60,8696
74	52,1739	60,8696	52,1739
75	52,1739	52,1739	52,1739
76	52,1739	52,1739	60,8696
77	52,1739	60,8696	52,1739
78	60,8696	52,1739	52,1739
79	52,1739	52,1739	60,8696
80	52,1739	52,1739	52,1739
81	52,1739	60,8696	52,1739
82	60,8696	52,1739	60,8696
83	52,1739	52,1739	52,1739
84	52,1739	52,1739	52,1739
85	60,8696	60,8696	52,1739
86	52,1739	52,1739	60,8696
87	52,1739	52,1739	52,1739
88	52,1739	52,1739	52,1739
89	60,8696	52,1739	52,1739
90	52,1739	60,8696	60,8696
91	52,1739	52,1739	52,1739
92	60,8696	52,1739	52,1739
93	52,1739	60,8696	52,1739

94	52,1739	52,1739	60,8696
95	60,8696	52,1739	52,1739
96	52,1739	60,8696	52,1739
97	52,1739	52,1739	60,8696
98	52,1739	52,1739	52,1739
99	60,8696	60,8696	52,1739
100	52,1739	52,1739	60,8696
101	60,8696	52,1739	52,1739
102	52,1739	52,1739	52,1739
103	52,1739	60,8696	60,8696
104	52,1739	52,1739	52,1739
105	60,8696	52,1739	52,1739
106	52,1739	52,1739	52,1739
107	52,1739	60,8696	60,8696
108	60,8696	52,1739	52,1739
109	52,1739	52,1739	52,1739
110	52,1739	52,1739	60,8696
111	52,1739	60,8696	52,1739
112	60,8696	52,1739	52,1739
113	52,1739	52,1739	52,1739
114	52,1739	60,8696	60,8696
115	52,1739	52,1739	52,1739
116	60,8696	52,1739	52,1739
117	52,1739	60,8696	52,1739
118	52,1739	52,1739	60,8696
119	52,1739	52,1739	52,1739
120	52,1739	52,1739	52,1739
121	60,8696	60,8696	60,8696
122	52,1739	52,1739	52,1739
123	52,1739	52,1739	52,1739
124	60,8696	52,1739	52,1739
125	52,1739	60,8696	60,8696
126	52,1739	52,1739	52,1739
127	52,1739	60,8696	52,1739
128	60,8696	52,1739	60,8696
129	52,1739	52,1739	52,1739
130	52,1739	52,1739	52,1739
131	52,1739	60,8696	60,8696

132	60,8696	52,1739	52,1739
133	52,1739	52,1739	52,1739
134	52,1739	52,1739	52,1739
135	52,1739	60,8696	60,8696
136	60,8696	52,1739	52,1739
137	52,1739	52,1739	52,1739
138	52,1739	60,8696	60,8696
139	60,8696	52,1739	52,1739
140	52,1739	52,1739	52,1739
141	52,1739	60,8696	52,1739
142	52,1739	52,1739	60,8696
143	60,8696	52,1739	52,1739
144	52,1739	52,1739	52,1739
145	52,1739	60,8696	60,8696
146	60,8696	52,1739	52,1739
147	52,1739	52,1739	52,1739
148	52,1739	60,8696	60,8696
149	52,1739	52,1739	52,1739
150	60,8696	52,1739	52,1739
151	52,1739	52,1739	60,8696
152	52,1739	60,8696	52,1739
153	52,1739	52,1739	52,1739
154	52,1739	52,1739	60,8696
155	60,8696	60,8696	52,1739
156	52,1739	52,1739	52,1739
157	52,1739	52,1739	52,1739
158	52,1739	52,1739	60,8696
159	60,8696	60,8696	52,1739
160	52,1739	52,1739	52,1739
161	52,1739	52,1739	60,8696
162	60,8696	52,1739	52,1739
163	52,1739	60,8696	52,1739
164	52,1739	52,1739	52,1739
165	52,1739	52,1739	60,8696
166	52,1739	60,8696	52,1739
167	60,8696	52,1739	52,1739
168	52,1739	52,1739	60,8696
169	52,1739	52,1739	52,1739

170	60,8696	60,8696	52,1739
171	52,1739	52,1739	60,8696
172	52,1739	52,1739	52,1739
173	52,1739	52,1739	52,1739
174	60,8696	60,8696	52,1739
175	52,1739	52,1739	60,8696
176	52,1739	52,1739	52,1739
177	52,1739	52,1739	52,1739
178	60,8696	60,8696	60,8696
179	52,1739	52,1739	52,1739
180	52,1739	52,1739	52,1739
181	52,1739	52,1739	52,1739
182	60,8696	60,8696	60,8696
183	52,1739	52,1739	52,1739
184	52,1739	52,1739	52,1739
185	60,8696	52,1739	52,1739
186	52,1739	60,8696	60,8696
187	52,1739	52,1739	52,1739
188	60,8696	52,1739	52,1739
189	52,1739	52,1739	60,8696
190	60,8696	60,8696	52,1739
191	52,1739	52,1739	52,1739
192	60,8696	52,1739	60,8696
193	52,1739	52,1739	52,1739
194	52,1739	60,8696	52,1739
195	60,8696	52,1739	60,8696
196	52,1739	52,1739	52,1739
197	60,8696	52,1739	52,1739
198	52,1739	60,8696	60,8696
199	52,1739	52,1739	52,1739
200	60,8696	52,1739	52,1739
201	52,1739	60,8696	60,8696
202	52,1739	52,1739	52,1739
203	60,8696	52,1739	52,1739
204	52,1739	52,1739	52,1739
205	60,8696	60,8696	60,8696
206	52,1739	52,1739	52,1739
207	52,1739	52,1739	52,1739

208	60,8696	52,1739	60,8696
209	52,1739	60,8696	52,1739
210	52,1739	52,1739	52,1739
211	60,8696	52,1739	60,8696
212	52,1739	60,8696	52,1739
213	60,8696	52,1739	52,1739
214	52,1739	52,1739	52,1739
215	60,8696	60,8696	60,8696
216	52,1739	52,1739	52,1739
217	60,8696	52,1739	52,1739
218	52,1739	52,1739	60,8696
219	60,8696	60,8696	52,1739
220	52,1739	52,1739	52,1739
221	60,8696	52,1739	60,8696
222	52,1739	52,1739	52,1739
223	52,1739	60,8696	52,1739
224	60,8696	52,1739	60,8696
225	52,1739	52,1739	52,1739
226	60,8696	60,8696	52,1739
227	52,1739	52,1739	60,8696
228	52,1739	52,1739	52,1739
229	60,8696	52,1739	60,8696
230	52,1739	60,8696	52,1739
231	60,8696	52,1739	52,1739
232	52,1739	52,1739	60,8696
233	52,1739	52,1739	52,1739
234	60,8696	60,8696	52,1739
235	52,1739	52,1739	60,8696
236	60,8696	52,1739	52,1739
237	52,1739	60,8696	52,1739
238	52,1739	52,1739	60,8696
239	60,8696	52,1739	52,1739
240	52,1739	60,8696	52,1739
241	60,8696	52,1739	60,8696
242	52,1739	52,1739	52,1739
243	52,1739	52,1739	52,1739
244	60,8696	60,8696	60,8696
245	52,1739	52,1739	52,1739

246	60,8696	52,1739	52,1739
247	52,1739	52,1739	60,8696
248	60,8696	60,8696	52,1739
249	52,1739	52,1739	52,1739
250	60,8696	52,1739	60,8696
251	52,1739	52,1739	52,1739
252	52,1739	60,8696	52,1739
253	60,8696	52,1739	60,8696
254	52,1739	52,1739	52,1739
255	60,8696	60,8696	52,1739
256	52,1739	52,1739	60,8696
257	52,1739	52,1739	52,1739
258	60,8696	60,8696	52,1739
259	52,1739	52,1739	60,8696
260	60,8696	52,1739	52,1739
261	52,1739	52,1739	52,1739
262	60,8696	60,8696	60,8696
263	52,1739	52,1739	52,1739
264	60,8696	52,1739	52,1739
265	52,1739	52,1739	60,8696
266	52,1739	60,8696	52,1739
267	60,8696	52,1739	52,1739
268	52,1739	52,1739	60,8696
269	52,1739	52,1739	52,1739
270	60,8696	60,8696	52,1739
271	52,1739	52,1739	60,8696
272	52,1739	52,1739	52,1739
273	60,8696	52,1739	60,8696
274	52,1739	60,8696	52,1739
275	52,1739	52,1739	52,1739
276	60,8696	52,1739	60,8696
277	52,1739	52,1739	52,1739
278	52,1739	60,8696	52,1739
279	60,8696	52,1739	60,8696
280	52,1739	52,1739	52,1739
281	52,1739	60,8696	52,1739
282	60,8696	52,1739	60,8696
283	52,1739	52,1739	52,1739

284	52,1739	52,1739	52,1739
285	60,8696	60,8696	52,1739
286	52,1739	52,1739	60,8696
287	60,8696	52,1739	52,1739
288	52,1739	52,1739	52,1739
289	52,1739	60,8696	60,8696
290	60,8696	52,1739	52,1739
291	52,1739	52,1739	52,1739
292	60,8696	52,1739	60,8696
293	52,1739	60,8696	52,1739
294	52,1739	52,1739	52,1739
295	60,8696	52,1739	60,8696
296	52,1739	60,8696	52,1739
297	60,8696	52,1739	52,1739
298	52,1739	52,1739	60,8696
299	52,1739	52,1739	52,1739
300	52,1739	60,8696	52,1739
301	60,8696	52,1739	60,8696
302	52,1739	52,1739	52,1739
303	60,8696	60,8696	52,1739
304	52,1739	52,1739	60,8696
305	60,8696	52,1739	52,1739
306	52,1739	52,1739	52,1739
307	60,8696	60,8696	60,8696
308	60,8696	52,1739	52,1739
309	52,1739	52,1739	52,1739
310	60,8696	52,1739	52,1739
311	52,1739	60,8696	60,8696
312	60,8696	52,1739	52,1739
313	52,1739	52,1739	52,1739
314	52,1739	60,8696	60,8696
315	60,8696	52,1739	52,1739
316	52,1739	52,1739	52,1739
317	60,8696	52,1739	60,8696
318	52,1739	60,8696	52,1739
319	52,1739	52,1739	52,1739
320	60,8696	52,1739	60,8696
321	52,1739	52,1739	52,1739

322	60,8696	60,8696	52,1739
323	52,1739	52,1739	60,8696
324	60,8696	52,1739	52,1739
325	52,1739	60,8696	52,1739
326	52,1739	52,1739	60,8696
327	60,8696	52,1739	52,1739
328	52,1739	60,8696	52,1739
329	52,1739	52,1739	52,1739
330	60,8696	52,1739	60,8696
331	52,1739	60,8696	52,1739
332	52,1739	52,1739	52,1739
333	60,8696	52,1739	60,8696
334	52,1739	52,1739	52,1739
335	52,1739	60,8696	52,1739
336	60,8696	52,1739	60,8696
337	52,1739	52,1739	52,1739
338	52,1739	60,8696	52,1739
339	60,8696	52,1739	60,8696
340	52,1739	52,1739	52,1739
341	52,1739	52,1739	52,1739
342	60,8696	60,8696	60,8696
343	52,1739	52,1739	52,1739
344	60,8696	52,1739	52,1739
345	52,1739	60,8696	60,8696
346	52,1739	52,1739	52,1739
347	52,1739	52,1739	52,1739
348	60,8696	52,1739	60,8696
349	52,1739	60,8696	52,1739
350	60,8696	52,1739	52,1739
351	52,1739	52,1739	52,1739
352	52,1739	52,1739	60,8696
353	60,8696	60,8696	52,1739
354	52,1739	52,1739	52,1739
355	52,1739	52,1739	60,8696
356	60,8696	60,8696	52,1739
357	52,1739	52,1739	52,1739
358	52,1739	52,1739	60,8696
359	60,8696	60,8696	52,1739

360	52,1739	52,1739	52,1739
361	52,1739	52,1739	60,8696
362	60,8696	52,1739	52,1739
363	52,1739	60,8696	52,1739
364	52,1739	52,1739	60,8696
365	60,8696	52,1739	52,1739
366	52,1739	60,8696	52,1739
367	52,1739	52,1739	52,1739
368	60,8696	52,1739	60,8696
369	52,1739	52,1739	52,1739
370	52,1739	60,8696	52,1739
371	60,8696	52,1739	60,8696
372	52,1739	52,1739	52,1739
373	52,1739	60,8696	52,1739
374	52,1739	52,1739	60,8696
375	60,8696	52,1739	52,1739
376	52,1739	60,8696	52,1739
377	60,8696	52,1739	60,8696
378	52,1739	52,1739	52,1739
379	52,1739	52,1739	52,1739
380	52,1739	60,8696	60,8696
381	60,8696	52,1739	52,1739
382	52,1739	52,1739	52,1739
383	52,1739	60,8696	60,8696
384	60,8696	52,1739	52,1739
385	52,1739	52,1739	52,1739
386	52,1739	60,8696	60,8696
387	60,8696	52,1739	52,1739
388	52,1739	52,1739	52,1739
389	52,1739	52,1739	60,8696
390	52,1739	60,8696	52,1739
391	60,8696	52,1739	52,1739
392	52,1739	52,1739	60,8696
393	52,1739	60,8696	52,1739
394	52,1739	52,1739	52,1739
395	60,8696	52,1739	60,8696
396	52,1739	60,8696	52,1739
397	52,1739	52,1739	52,1739

398	60,8696	52,1739	60,8696
399	52,1739	52,1739	52,1739
400	60,8696	60,8696	52,1739
401	52,1739	52,1739	60,8696
402	52,1739	52,1739	52,1739
403	60,8696	52,1739	52,1739
404	52,1739	60,8696	60,8696
405	52,1739	52,1739	52,1739
406	52,1739	52,1739	52,1739
407	60,8696	60,8696	60,8696
408	52,1739	52,1739	52,1739
409	52,1739	52,1739	52,1739
410	52,1739	60,8696	60,8696
411	60,8696	52,1739	52,1739
412	52,1739	52,1739	52,1739
413	52,1739	52,1739	60,8696
414	60,8696	60,8696	52,1739
415	52,1739	52,1739	60,8696
416	52,1739	52,1739	52,1739
417	60,8696	60,8696	52,1739
418	52,1739	52,1739	52,1739
419	52,1739	52,1739	60,8696
420	52,1739	52,1739	52,1739
421	60,8696	60,8696	52,1739
422	52,1739	52,1739	60,8696
423	52,1739	52,1739	52,1739
424	60,8696	60,8696	52,1739
425	52,1739	52,1739	60,8696
426	52,1739	52,1739	52,1739
427	60,8696	60,8696	52,1739
428	52,1739	52,1739	60,8696
429	52,1739	52,1739	52,1739
430	52,1739	60,8696	52,1739
431	60,8696	52,1739	60,8696
432	52,1739	52,1739	52,1739
433	52,1739	52,1739	52,1739
434	60,8696	60,8696	60,8696
435	52,1739	52,1739	52,1739

436	52,1739	52,1739	52,1739
437	60,8696	60,8696	60,8696
438	52,1739	52,1739	52,1739
439	52,1739	52,1739	60,8696
440	60,8696	60,8696	52,1739
441	52,1739	52,1739	52,1739
442	52,1739	52,1739	52,1739
443	52,1739	60,8696	60,8696
444	60,8696	52,1739	52,1739
445	52,1739	52,1739	60,8696
446	60,8696	60,8696	52,1739
447	52,1739	52,1739	52,1739
448	52,1739	52,1739	60,8696
449	60,8696	60,8696	52,1739
450	52,1739	52,1739	52,1739
451	52,1739	52,1739	60,8696
452	60,8696	60,8696	52,1739
453	52,1739	52,1739	52,1739
454	52,1739	52,1739	60,8696
455	60,8696	52,1739	52,1739
456	52,1739	60,8696	52,1739
457	52,1739	52,1739	60,8696
458	52,1739	52,1739	52,1739
459	60,8696	52,1739	52,1739
460	52,1739	60,8696	60,8696
461	52,1739	52,1739	52,1739
462	60,8696	52,1739	52,1739
463	52,1739	60,8696	52,1739
464	52,1739	52,1739	60,8696
465	52,1739	52,1739	52,1739
466	60,8696	60,8696	60,8696
467	52,1739	52,1739	52,1739
468	52,1739	52,1739	52,1739
469	60,8696	52,1739	60,8696
470	52,1739	60,8696	52,1739
471	52,1739	52,1739	52,1739
472	60,8696	52,1739	60,8696
473	52,1739	60,8696	52,1739

474	52,1739	52,1739	52,1739
475	60,8696	52,1739	60,8696
476	52,1739	60,8696	52,1739
477	52,1739	52,1739	52,1739
478	52,1739	52,1739	60,8696
479	60,8696	60,8696	52,1739
480	52,1739	52,1739	52,1739
481	52,1739	52,1739	60,8696
482	60,8696	52,1739	52,1739
483	52,1739	60,8696	60,8696
484	52,1739	52,1739	52,1739
485	52,1739	52,1739	52,1739
486	60,8696	60,8696	60,8696
487	52,1739	52,1739	52,1739
488	52,1739	52,1739	52,1739
489	60,8696	60,8696	52,1739
490	52,1739	52,1739	60,8696
491	52,1739	52,1739	52,1739
492	52,1739	60,8696	52,1739
493	60,8696	52,1739	60,8696
494	52,1739	52,1739	52,1739
495	52,1739	60,8696	52,1739
496	60,8696	52,1739	60,8696
497	52,1739	52,1739	52,1739
498	52,1739	60,8696	52,1739
499	60,8696	52,1739	60,8696
500	52,1739	60,8696	52,1739
501	52,1739	52,1739	52,1739
502	52,1739	52,1739	52,1739
503	60,8696	60,8696	60,8696
504	52,1739	52,1739	52,1739
505	52,1739	52,1739	52,1739
506	60,8696	60,8696	60,8696
507	52,1739	52,1739	52,1739
508	52,1739	52,1739	52,1739
509	52,1739	60,8696	60,8696
510	60,8696	52,1739	52,1739
511	52,1739	52,1739	52,1739

512	52,1739	60,8696	60,8696
513	52,1739	52,1739	52,1739
514	60,8696	52,1739	52,1739
515	52,1739	52,1739	60,8696
516	52,1739	60,8696	52,1739
517	52,1739	52,1739	52,1739
518	60,8696	52,1739	60,8696
519	52,1739	60,8696	52,1739
520	52,1739	52,1739	52,1739
521	60,8696	52,1739	60,8696
522	52,1739	60,8696	52,1739
523	52,1739	52,1739	52,1739
524	60,8696	52,1739	60,8696
525	52,1739	60,8696	52,1739
526	52,1739	52,1739	52,1739
527	52,1739	52,1739	52,1739
528	60,8696	52,1739	60,8696
529	52,1739	60,8696	52,1739
530	52,1739	52,1739	52,1739
531	52,1739	52,1739	60,8696
532	60,8696	60,8696	52,1739
533	52,1739	52,1739	52,1739
534	52,1739	52,1739	60,8696
535	60,8696	60,8696	52,1739
536	52,1739	52,1739	52,1739
537	52,1739	52,1739	60,8696
538	60,8696	60,8696	52,1739
539	52,1739	52,1739	52,1739
540	52,1739	52,1739	60,8696
541	52,1739	60,8696	52,1739
542	60,8696	52,1739	52,1739
543	52,1739	52,1739	60,8696
544	52,1739	52,1739	52,1739
545	60,8696	60,8696	52,1739
546	52,1739	52,1739	60,8696
547	52,1739	52,1739	52,1739
548	60,8696	60,8696	52,1739
549	52,1739	52,1739	60,8696

550	52,1739	52,1739	52,1739
551	60,8696	60,8696	52,1739
552	52,1739	52,1739	60,8696
553	52,1739	52,1739	52,1739
554	60,8696	52,1739	52,1739
555	52,1739	60,8696	60,8696
556	52,1739	52,1739	
557	52,1739	52,1739	
558		60,8696	
559		52,1739	
560		43,4783	
Promedio	54,9840004	54,62733	54,9157876

Para Q2 se realizó la prueba tomando un 2% aproximadamente por debajo del caudal indicado, para que el caudal oscilara entre los valores permitidos por la norma. De esta manera el caudal con el que se ejecuto fue de 100.3 L.

Tabla 2. Pruebas tomadas para el caudal Q2

Dato	Prueba 1 para Q2	Prueba 2 para Q2	Prueba 3 para Q2
1	97,3913	69,5652	52,1739
2	97,3913	95,6522	95,6522
3	97,3913	95,6522	95,6522
4	97,3913	104,348	95,6522
5	97,3913	95,6522	104,348
6	98,2609	95,6522	95,6522
7	97,3913	95,6522	95,6522
8	98,2609	95,6522	95,6522
9	98,2609	95,6522	95,6522
10	97,3913	95,6522	95,6522
11	98,2609	104,348	104,348
12	98,2609	95,6522	95,6522
13	98,2609	95,6522	95,6522
14	97,3913	95,6522	95,6522
15	98,2609	95,6522	95,6522

16	98,2609	95,6522	95,6522
17	98,2609	104,348	104,348
18	98,2609	95,6522	95,6522
19	97,3913	95,6522	95,6522
20	98,2609	95,6522	95,6522
21	98,2609	95,6522	95,6522
22	98,2609	104,348	104,348
23	99,1304	95,6522	95,6522
24	99,1304	95,6522	95,6522
25	99,1304	95,6522	95,6522
26	98,2609	95,6522	95,6522
27	98,2609	104,348	95,6522
28	98,2609	95,6522	95,6522
29	98,2609	95,6522	104,348
30	98,2609	95,6522	95,6522
31	98,2609	95,6522	95,6522
32	98,2609	104,348	95,6522
33	98,2609	95,6522	104,348
34	98,2609	95,6522	95,6522
35	98,2609	95,6522	95,6522
36	99,1304	95,6522	95,6522
37	98,2609	10,4348	104,348
38	98,2609	95,6522	95,6522
39	98,2609	95,6522	95,6522
40	98,2609	95,6522	95,6522
41		95,6522	104,348
42		104,348	956,522
43		95,6522	95,6522
44		95,6522	95,6522
45		95,6522	95,6522
46		104,348	104,348
47		95,6522	95,6522
48		95,6522	95,6522
49		95,6522	95,6522
50		95,6522	104,348
51		95,6522	95,6522
52		104,348	95,6522
53		95,6522	95,6522

54		95,6522	95,6522
55		95,6522	95,6522
56		104,348	104,348
57		95,6522	95,6522
58		95,6522	95,6522
59		95,6522	104,348
60		95,6522	95,6522
61		104,348	95,6522
62		95,6522	95,6522
63		95,6522	95,6522
64		95,6522	104,348
65		104,348	95,6522
66		95,6522	95,6522
67		95,6522	95,6522
68		104,348	104,348
69		95,6522	95,6522
70		95,6522	95,6522
71		95,6522	95,6522
72		95,6522	104,348
73		95,6522	95,6522
74		104,348	95,6522
75		95,6522	95,6522
76		95,6522	104,348
77		95,6522	95,6522
78		104,348	95,6522
79		95,6522	95,6522
80		95,6522	104,348
81		95,6522	95,6522
82		104,348	95,6522
83		95,6522	95,6522
84		95,6522	95,6522
85		95,6522	104,348
86		104,348	95,6522
87		95,6522	95,6522
88		95,6522	95,6522
89		95,6522	104,348
90		95,6522	95,6522
91		104,348	95,6522

92		95,6522	95,6522
93		95,6522	95,6522
94		95,6522	104,348
95		104,348	95,6522
96		95,6522	95,6522
97		95,6522	104,348
98		95,6522	95,6522
99		104,348	95,6522
100		95,6522	95,6522
101		95,6522	104,348
102		95,6522	95,6522
103		104,348	95,6522
104		95,6522	95,6522
105		95,6522	104,348
106		95,6522	95,6522
107		104,348	95,6522
108		95,6522	104,348
109		95,6522	95,6522
110		95,6522	95,6522
111		104,348	95,6522
112		95,6522	104,348
113		95,6522	95,6522
114		95,6522	95,6522
115		104,348	104,348
116		95,6522	95,6522
117		95,6522	95,6522
118		95,6522	95,6522
119		104,348	104,348
120		95,6522	95,6522
121		95,6522	95,6522
122		95,6522	104,348
123		104,348	95,6522
124		95,6522	95,6522
125		95,6522	95,6522
126		95,6522	95,6522
127		95,6522	104,348
128		104,348	95,6522
129		95,6522	95,6522

130		95,6522	95,6522
131		95,6522	104,348
132		95,6522	95,6522
133		104,348	95,6522
134		95,6522	95,6522
135		95,6522	104,348
136		95,6522	95,6522
137		104,348	95,6522
138		95,6522	95,6522
139		95,6522	104,348
140		95,6522	95,6522
141		95,6522	95,6522
142		104,348	95,6522
143		95,6522	104,348
144		95,6522	95,6522
145		104,348	95,6522
146		95,6522	104,348
147		95,6522	95,6522
148		95,6522	95,6522
149		104,348	95,6522
150		95,6522	104,348
151		95,6522	95,6522
152		95,6522	95,6522
153		104,348	104,348
154		95,6522	95,6522
155		95,6522	95,6522
156		104,348	95,6522
157		95,6522	104,348
158		95,6522	95,6522
159		104,348	95,6522
160		95,6522	104,348
161		95,6522	95,6522
162		104,348	95,6522
163		95,6522	104,348
164		95,6522	95,6522
165		104,348	95,6522
166		95,6522	95,6522
167		95,6522	104,348

168		95,6522	95,6522
169		104,348	95,6522
170		95,6522	104,348
171		95,6522	95,6522
172		95,6522	95,6522
173		104,348	104,348
174		95,6522	95,6522
175		95,6522	95,6522
176		95,6522	104,348
177		104,348	95,6522
178		95,6522	95,6522
179		95,6522	95,6522
180		95,6522	95,6522
181		104,348	104,348
182		95,6522	95,6522
183		95,6522	95,6522
184		104,348	104,348
185		95,6522	95,6522
186		95,6522	95,6522
187		95,6522	95,6522
188		104,348	95,6522
189		95,6522	104,348
190		95,6522	95,6522
191		104,348	95,6522
192		95,6522	104,348
193		95,6522	95,6522
194		95,6522	95,6522
195		104,348	104,348
196		95,6522	95,6522
197		95,6522	95,6522
198		104,348	95,6522
199		95,6522	104,348
200		95,6522	95,6522
201		95,6522	95,6522
202		104,348	95,6522
203		95,6522	104,348
204		95,6522	95,6522
205		95,6522	95,6522

206		104,348	95,6522
207		95,6522	104,348
208		95,6522	95,6522
209		104,348	95,6522
210		95,6522	95,6522
211		95,6522	104,348
212		95,6522	95,6522
213		104,348	95,6522
214		95,6522	95,6522
215		95,6522	104,348
216		104,348	95,6522
217		95,6522	95,6522
218		95,6522	95,6522
219		104,348	104,348
220		95,6522	95,6522
221		95,6522	95,6522
222		104,348	104,348
223		95,6522	95,6522
224		95,6522	95,6522
225		95,6522	104,348
226		104,348	95,6522
227		95,6522	95,6522
228		95,6522	95,6522
229		104,348	104,348
230		95,6522	95,6522
231		95,6522	95,6522
232		95,6522	104,348
233		104,348	95,6522
234		95,6522	95,6522
235		95,6522	95,6522
236		104,348	104,348
237		95,6522	95,6522
238		95,6522	95,6522
239		104,348	104,348
240		95,6522	95,6522
241		95,6522	95,6522
242		104,348	104,348
243		95,6522	95,6522

244		95,6522	95,6522
245		95,6522	95,6522
246		104,348	104,348
247		95,6522	95,6522
248		104,348	95,6522
249		95,6522	95,6522
250		95,6522	104,348
251		95,6522	95,6522
252		104,348	95,6522
253		95,6522	104,348
254		95,6522	95,6522
255		104,348	95,6522
256		95,6522	104,348
257		95,6522	95,6522
258		104,348	95,6522
259		95,6522	104,348
260		95,6522	95,6522
261		104,348	95,6522
262		95,6522	95,6522
263		95,6522	104,348
264		95,6522	95,6522
265		104,348	95,6522
266		95,6522	95,6522
267		95,6522	104,348
268		95,6522	95,6522
269		104,348	95,6522
270		95,6522	95,6522
271		95,6522	104,348
272		104,348	95,6522
273		95,6522	95,6522
274		95,6522	104,348
275		104,348	95,6522
276		95,6522	95,6522
277		95,6522	104,348
278		95,6522	95,6522
279		104,348	95,6522
280		95,6522	104,348
281		95,6522	95,6522

282		104,348	95,6522
283		95,6522	95,6522
284		95,6522	104,348
285		95,6522	95,6522
286		104,348	95,6522
287		95,6522	104,348
288		95,6522	95,6522
289		95,6522	95,6522
290		104,348	95,6522
291		95,6522	104,348
292		95,6522	95,6522
293		104,348	95,6522
294		95,6522	104,348
295		95,6522	95,6522
296		104,348	95,6522
297		95,6522	104,348
298		95,6522	95,6522
299		104,348	95,6522
300		95,6522	95,6522
301		95,6522	104,348
302		104,348	95,6522
303		95,6522	95,6522
304		95,6522	104,348
305		95,6522	95,6522
306		95,6522	95,6522
307		104,348	95,6522
308		95,6522	104,348
309		95,6522	95,6522
310		104,348	95,6522
311		95,6522	104,348
312		95,6522	95,6522
313		104,348	95,6522
314		95,6522	104,348
315		95,6522	95,6522
316		95,6522	
317		104,348	
318		95,6522	
319		95,6522	

320		95,6522	
321		104,348	
322		95,6522	
323		95,6522	
324		104,348	
325		95,6522	
326		95,6522	
327		95,6522	
328		104,348	
329		95,6522	
330		95,6522	
331		104,348	
332		95,6522	
333		95,6522	
334		104,348	
335		95,6522	
336		95,6522	
337		95,6522	
338		104,348	
339		95,6522	
340		95,6522	
341		104,348	
342		95,6522	
343		95,6522	
344		104,348	
345		95,6522	
346		95,6522	
347		95,6522	
348		104,348	
349		95,6522	
350		95,6522	
351		104,348	
352		95,6522	
353		95,6522	
354		95,6522	
355		104,348	
356		95,6522	
357		95,6522	

358		104,348	
359		95,6522	
360		95,6522	
361		104,348	
362		95,6522	
363		17,3913	
Promedio	98,15219	97,6804211	100,664701

Para Q3 se realizó la prueba tomando un 2% aproximadamente por debajo del caudal indicado, para que el caudal oscilara entre los valores permitidos por la norma. De esta manera el caudal con el que se ejecuto fue de 1568 L.

Tabla 3. Pruebas tomadas para el caudal Q3

Dato	Prueba 1 para Q3	Prueba 2 para Q3	Prueba 3 para Q3
1	1547,83	1565,22	1600
2	1547,83	1565,22	1539,13
3	1539,13	1565,22	1547,83
4	1539,13	1565,22	1539,13
5	1530,43	1573,91	1547,83
6	1539,13	1556,52	1530,43
7	1530,43	1565,22	1539,13
8	1539,13	1556,52	1539,13
9	1547,83	1556,52	1530,43
10	1556,52	1556,52	1530,43
11	1556,52	1573,91	1539,13
12	1556,52	1582,61	1539,13
13	1556,52	1573,91	1547,83
14	1556,52	1582,61	1547,83
15	1556,52	1582,61	1556,52
16	1547,83	1573,91	1556,52
17	1556,52	1582,61	1556,52
18	1539,13	1565,22	1547,83
19	1556,52	1573,91	1547,83

20	1547,83	1573,91	1547,83
21	1556,52	1573,91	1556,52
22	1547,83	1565,22	1539,13
23	1547,83	1573,91	1547,83
24	1547,83	1565,22	1539,13
25	1547,83	1565,22	1539,13
26	1547,83	1565,22	1547,83
27	1547,83	1565,22	1539,13
28	1547,83	1565,22	1539,13
29	1539,13	1565,22	1547,83
30	1547,83	1573,91	1547,83
31	1556,52	1565,22	1539,13
32	1547,83	1573,91	1539,13
33	1556,52	1565,22	1539,13
34	1556,52	1565,22	1547,83
35	1556,52	1565,22	1539,13
36	1565,22	1565,22	1539,13
37	1565,22	1565,22	1539,13
38	1565,22	1565,22	1547,83
39	1573,91	1556,52	1539,13
40	1573,91	1565,22	1539,13
41	1573,91	1556,52	1539,13
42	1573,91	1565,22	1530,43
43	1573,91	1556,52	1539,13
44	1582,61	1556,52	1530,43
45	1582,61	1556,52	1539,13
46	1582,61	1556,52	1539,13
47	1582,61	1556,52	1539,13
48	1591,3	1547,83	1547,83
49	1591,3	1556,52	1547,83
50	1582,61	1556,52	1547,83
51	1591,3	1556,52	1547,83
52	1600	1556,52	1539,13
53	1591,3	1547,83	1556,52
54	1591,3	1556,52	1565,22
55	1591,3	1547,83	1556,52
56	1591,3	1556,52	1556,52
57	1591,3	1547,83	1556,52

58	1591,3	1556,52	1565,22
59	1591,3	1547,83	1565,22
60	1582,61	1547,83	1573,91
61	1591,3	1547,83	1573,91
62	1582,61	1547,83	1565,22
63	1582,61	1547,83	1582,61
64	1582,61	1547,83	1573,91
65	1591,3	1539,13	1573,91
66	1582,61	1547,83	1582,61
67	1582,61	1547,83	1582,61
68	1582,61	1547,83	1591,3
69	1582,61	1539,13	1582,61
70	1573,91	1547,83	1582,61
71	1582,61	1539,13	1582,61
72	1573,91	1547,83	1582,61
73	1573,91	1547,83	1573,91
74	1582,61	1539,13	1582,61
75	1573,91	1565,22	1582,61
76	1573,91	1547,83	1582,61
77	1573,91	1556,52	1573,91
78	1573,91	1556,52	1582,61
79	1573,91	1565,22	1573,91
80	1573,91	1565,22	1573,91
81	1565,22	1565,22	1573,91
82	1565,22	1573,91	1582,61
83	1573,91	1573,91	1573,91
84	1573,91	1573,91	1573,91
85	1573,91	1573,91	1573,91
86	1565,22	1582,61	1565,22
87	1573,91	1573,91	1573,91
88	1565,22	1582,61	1565,22
89	1573,91	1582,61	1573,91
90	1565,22	1591,3	1573,91
91	1573,91	1591,3	1565,22
92	1565,22	1591,3	1565,22
93	1565,22	1591,3	1573,91
94	1556,52	1591,3	1565,22
95	1565,22	1582,61	1565,22

96	1556,52	1591,3	1573,91
97	1565,22	1591,3	1565,22
98	1565,22	1591,3	1565,22
99	1556,52	1582,61	1556,52
100	1556,52	1582,61	1565,22
101	1565,22	1591,3	1565,22
102	1556,52	1582,61	1556,52
103	1556,52	1573,91	1565,22
104	1556,52	1582,61	1556,52
105	1556,52	1582,61	1556,52
106	1565,22	1582,61	1556,52
107	1547,83	1582,61	1556,52
108	1556,52	1573,91	1556,52
109	1547,83	1582,61	1556,52
110	1556,52	1582,61	1547,83
111	1547,83	1573,91	1556,52
112	1556,52	1573,91	1556,52
113	1547,83	1582,61	1547,83
114	1547,83	1573,91	1547,83
115	1547,83	1573,91	1556,52
116	1556,52	1573,91	1547,83
117	1539,13	1573,91	1556,52
118	1556,52	1573,91	1547,83
119	1539,13	1573,91	1556,52
120	1547,83	1565,22	1547,83
121	1547,83	1573,91	1547,83
122	1539,13	1565,22	1547,83
123	1547,83	1573,91	1547,83
124	1539,13	1573,91	1547,83
125	1539,13	1565,22	1547,83
126	1547,83	1565,22	1539,13
127	1539,13	1565,22	1547,83
128	1539,13	1565,22	1547,83
129	1547,83	1565,22	1539,13
130	1539,13	1565,22	1547,83
131	1547,83	1565,22	1539,13
132	1547,83	1565,22	1547,83
133	1547,83	1565,22	1539,13

134	1547,83	1565,22	1539,13
135	1556,52	1556,52	1547,83
136	1556,52	1556,52	1547,83
137	1565,22	1556,52	1547,83
138	1565,22	1565,22	1547,83
139	1565,22	1556,52	1547,83
140	1565,22	1556,52	1547,83
141	1565,22	1556,52	1547,83
142	1573,91	1556,52	1547,83
143	1573,91	1556,52	1547,83
144	1573,91	1556,52	1547,83
145	1573,91	1547,83	1547,83
146	1582,61	1556,52	1547,83
147	1582,61	1556,52	1547,83
148	1582,61	1547,83	1547,83
149	1582,61	1547,83	1547,83
150	1591,3	1556,52	1547,83
151	1591,3	1547,83	1539,13
152	1591,3	1547,83	1547,83
153	1582,61	1547,83	1547,83
154	1582,61	1556,52	1547,83
155	1591,3	1547,83	1547,83
156	1591,3	1547,83	1556,52
157	1582,61	1547,83	1556,52
158	1582,61	1547,83	1556,52
159	1582,61	1547,83	1556,52
160	1582,61	1547,83	1565,22
161	1582,61	1547,83	1556,52
162	1582,61	1539,13	1556,52
163	1582,61	1547,83	1573,91
164	1573,91	1547,83	1573,91
165	1582,61	1539,13	1573,91
166	1573,91	1547,83	1573,91
167	1582,61	1539,13	1582,61
168	1573,91	1547,83	1582,61
169	1582,61	1539,13	1582,61
170	1573,91	1539,13	1582,61
171	1573,91	1547,83	1573,91

172	1573,91	1539,13	1582,61
173	1582,61	1539,13	1582,61
174	1565,22	1547,83	1573,91
175	1573,91	1547,83	1582,61
176	1565,22	1547,83	1573,91
177	1565,22	1556,52	1573,91
178	1573,91	1556,52	1582,61
179	1565,22	1547,83	1573,91
180	1556,52	1556,52	1565,22
181	1573,91	1565,22	1573,91
182	1556,52	1565,22	1565,22
183	1565,22	1565,22	1573,91
184	1565,22	1565,22	1565,22
185	1556,52	1565,22	1565,22
186	1565,22	1573,91	1565,22
187	1556,52	1573,91	1565,22
188	1556,52	1573,91	1556,52
189	1556,52	1573,91	1565,22
190	1565,22	1573,91	1556,52
191	1556,52	1591,3	1565,22
192	1556,52	1582,61	1556,52
193	1556,52	1582,61	1556,52
194	1556,52	1582,61	1556,52
195	1556,52	1582,61	1565,22
196	1556,52	1591,3	1556,52
197	1556,52	1591,3	1565,22
198	1547,83	1582,61	1565,22
199	1556,52	1582,61	1556,52
200	1556,52	1582,61	1556,52
201	1556,52	1582,61	1556,52
202	1547,83	1573,91	1556,52
203	1556,52	1582,61	1547,83
204	1547,83	1582,61	1556,52
205	1547,83	1573,91	1556,52
206	1547,83	1582,61	1556,52
207	1556,52	1573,91	1547,83
208	1539,13	1573,91	1556,52
209	1556,52	1573,91	1547,83

210	1547,83	1573,91	1547,83
211	1539,13	1573,91	1547,83
212	1547,83	1573,91	1547,83
213	1547,83	1573,91	1547,83
214	1547,83	1573,91	1547,83
215	1539,13	1573,91	1547,83
216	1539,13	1573,91	1547,83
217	1539,13	1565,22	1539,13
218	1547,83	1573,91	1547,83
219	1539,13	1565,22	1547,83
220	1539,13	1565,22	1547,83
221	1547,83	1565,22	1539,13
222	1539,13	1565,22	1547,83
223	1539,13	1565,22	1547,83
224	1539,13	1565,22	1539,13
225	1539,13	1565,22	1547,83
226	1530,43	1565,22	1547,83
227	1539,13	1556,52	1539,13
228	1539,13	1556,52	1547,83
229	1539,13	1556,52	1547,83
230			1547,83
231			1547,83
232			1547,83
Promedio	1562,52131	1564,83795	1556,26017

Para Q4 se realizó la prueba tomando un 2% aproximadamente por debajo del caudal indicado, para que el caudal oscilara entre los valores permitidos por la norma. De esta manera el caudal con el que se ejecuto fue de 1960 L.

Tabla 4. Pruebas tomadas para el caudal Q4

Dato	Prueba 1 para Q4	Prueba 2 para Q4	Prueba 3 para Q4
1	1939,13	1939,13	1921,74

2	1939,13	1930,43	1921,74
3	1939,13	1939,13	1913,04
4	1939,13	1930,43	1921,74
5	1930,43	1930,43	1921,74
6	1930,43	1947,83	1913,04
7	1939,13	1930,43	1913,04
8	1947,83	1930,43	1913,04
9	1956,52	1921,74	1921,74
10	1956,52	1921,74	1904,35
11	1956,52	1930,43	1913,04
12	1956,52	1913,04	1913,04
13	1947,83	1939,13	1921,74
14	1956,52	1947,83	1913,04
15	1947,83	1939,13	1913,04
16	1947,83	1913,04	1913,04
17	1947,83	1921,74	1904,35
18	1947,83	1913,04	1904,35
19	1947,83	1921,74	1895,65
20	1947,83	1913,04	1904,35
21	1947,83	1913,04	1895,65
22	1947,83	1913,04	1904,35
23	1947,83	1904,35	1895,65
24	1939,13	1913,04	1904,35
25	1939,13	1913,04	1886,96
26	1939,13	1913,04	1904,35
27	1939,13	1904,35	1895,65
28	1939,13	1904,35	1886,96
29	1939,13	1913,04	1904,35
30	1930,43	1904,35	1878,26
31	1939,13	1904,35	1895,65
32	1930,43	1895,65	1878,26
33	1930,43	1913,04	1895,65
34	1930,43	1921,74	1869,57
35	1930,43	1921,74	1869,57
36	1930,43	1921,74	1869,57
37	1930,43	1930,43	1886,96
38	1921,74	1921,74	1895,65
39	1930,43	1921,74	1886,96

40	1921,74	1921,74	1895,65
41	1930,43	1921,74	1904,35
42	1930,43	1913,04	1904,35
43	1930,43	1921,74	1895,65
44	1930,43	1913,04	1913,04
45	1913,04	1921,74	1913,04
46	1921,74	1921,74	1913,04
47	1921,74	1930,43	1921,74
48	1921,74	1930,43	1913,04
49	1930,43	1930,43	1930,43
50	1921,74	1939,13	1947,83
51	1930,43	1930,43	1956,52
52	1930,43	1939,13	1956,52
53	1930,43	1947,83	1956,52
54	1930,43	1939,13	1956,52
55	1939,13	1947,83	1965,22
56	1939,13	1947,83	1939,13
57	1939,13	1956,52	1939,13
58	1947,83	1956,52	1956,52
59	1956,52	1956,52	1965,22
60	1947,83	1965,22	1973,91
61	1956,52	1965,22	1973,91
62	1956,52	1965,22	1973,91
63	1956,52	1965,22	1973,91
64	1965,22	1973,91	1973,91
65	1965,22	1973,91	1973,91
66	1973,91	1982,61	1973,91
67	1973,91	1973,91	1973,91
68	1982,61	1982,61	1965,22
69	1973,91	1982,61	1973,91
70	1982,61	1982,61	1965,22
71	1982,61	1982,61	1965,22
72	1991,3	1973,91	1965,22
73	1982,61	1982,61	1956,52
74	1982,61	1973,91	1965,22
75	1982,61	1982,61	1965,22
76	1982,61	1973,91	1965,22
77	1982,61	1973,91	1956,52

78	1973,91	1973,91	1956,52
79	1982,61	1965,22	1956,52
80	1973,91	1973,91	1956,52
81	1973,91	1965,22	1956,52
82	1973,91	1973,91	1947,83
83	1973,91	1956,52	1956,52
84	1965,22	1965,22	1947,83
85	1973,91	1965,22	1956,52
86	1965,22	1965,22	1956,52
87	1965,22	1965,22	1947,83
88	1973,91	1956,52	1939,13
89	1965,22	1965,22	1947,83
90	1956,52	1956,52	1947,83
91	1965,22	1956,52	1939,13
92	1965,22	1956,52	1947,83
93	1956,52	1947,83	1939,13
94	1956,52	1956,52	1939,13
95	1956,52	1947,83	1939,13
96	1965,22	1947,83	1947,83
97	1956,52	1947,83	1930,43
98	1956,52	1947,83	1939,13
99	1956,52	1947,83	1939,13
100	1956,52	1947,83	1939,13
101	1947,83	1930,43	1930,43
102	1956,52	1947,83	1930,43
103	1947,83	1939,13	1930,43
104	1947,83	1939,13	1930,43
105	1956,52	1939,13	1930,43
106	1939,13	1939,13	1930,43
107	1947,83	1930,43	1930,43
108	1947,83	1930,43	1921,74
109	1947,83	1939,13	1921,74
110	1939,13	1930,43	1921,74
111	1947,83	1921,74	1930,43
112	1939,13	1930,43	1921,74
113	1947,83	1921,74	1921,74
114	1939,13	1921,74	1913,04
115	1939,13	1930,43	1921,74

116	1939,13	1921,74	1921,74
117	1939,13	1921,74	1921,74
118	1939,13	1921,74	1913,04
119	1930,43	1913,04	1913,04
120	1939,13	1921,74	1921,74
121	1930,43	1913,04	1913,04
122	1930,43	1913,04	1913,04
123	1930,43	1913,04	1913,04
124	1930,43	1913,04	1913,04
125	1973,91	1904,35	1913,04
126	1921,74	1913,04	1913,04
127	1930,43	1913,04	1913,04
128	1921,74	1904,35	1921,74
129	1921,74	1904,35	1913,04
130	1930,43	1904,35	1930,43
131	1921,74	1904,35	1930,43
132	1921,74	1904,35	1921,74
133	1921,74	1895,65	1930,43
134	1913,04	1913,04	1930,43
135	1921,74	1904,35	1930,43
136	1913,04	1913,04	1930,43
137	1921,74	1913,04	1939,13
138	1913,04	1913,04	1947,83
139	1913,04	1921,74	1939,13
140	1921,74	1921,74	1947,83
141	1921,74	1921,74	1947,83
142	1930,43	1930,43	1947,83
143	1930,43	1930,43	1956,52
144	1921,74	1930,43	1965,22
145	1939,13	1947,83	1956,52
146	1939,13	1930,43	1965,22
147	1939,13	1947,83	1965,22
148	1947,83	1947,83	1965,22
149	1947,83	1939,13	1965,22
150	1947,83	1956,52	1973,91
151	1956,52	1956,52	1982,61
152	1956,52	1956,52	1973,91
153	1956,52	1947,83	1982,61

154	1956,52	1956,52	1982,61
155	1965,22	1965,22	1973,91
156	1965,22	1973,91	1973,91
157	1965,22	1965,22	1973,91
158	1973,91	1965,22	1973,91
159	1973,91	1973,91	1973,91
160	1973,91	1965,22	1965,22
161	1973,91	1982,61	1965,22
162	1973,91	1965,22	1973,91
163	1982,61	1973,91	1965,22
164	1973,91	1973,91	1965,22
165	1982,61	1965,22	1965,22
166	1982,61	1973,91	1965,22
167	1973,91	1965,22	1956,52
168	1982,61	1965,22	1956,52
169	1973,91	1965,22	1956,52
170	1982,61	1965,22	1956,52
171	1973,91	1956,52	1956,52
172	1973,91	1965,22	1965,22
173	1965,22	1956,52	1947,83
174	1973,91	1965,22	1956,52
175	1973,91	1956,52	1947,83
176	1973,91	1956,52	1947,83
177	1965,22	1956,52	1947,83
178	1965,22	1956,52	1947,83
179	1965,22	1947,83	1947,83
180	1965,22	1947,83	1939,13
181	1965,22	1947,83	1947,83
182	1956,52	1947,83	
183	1965,22	1947,83	
184	1956,52	1947,83	
185	1965,22	1943,48	
186	1956,52		
Promedio	1949,9293	1940,6107	1936,15138

ANEXO C

DATASHEET GENERADOR



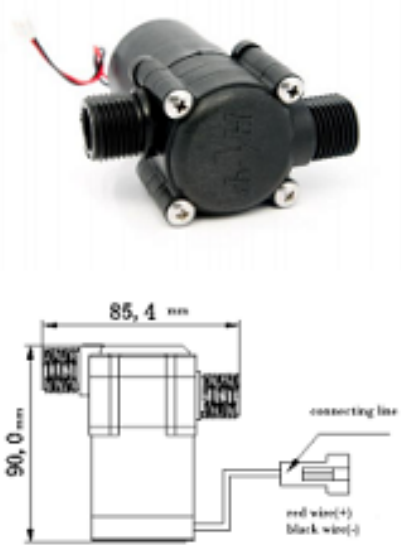
WWW.SEEEDSTUDIO.COM
Tech Support: info@seeed.com

Micro hydro generator

Introduction

Micro hydro power is clean, renewable energy. Here is a micro hydro generator which can supply stably output voltage and output current with the help of one voltage stabilizing circuit and one rechargeable battery.

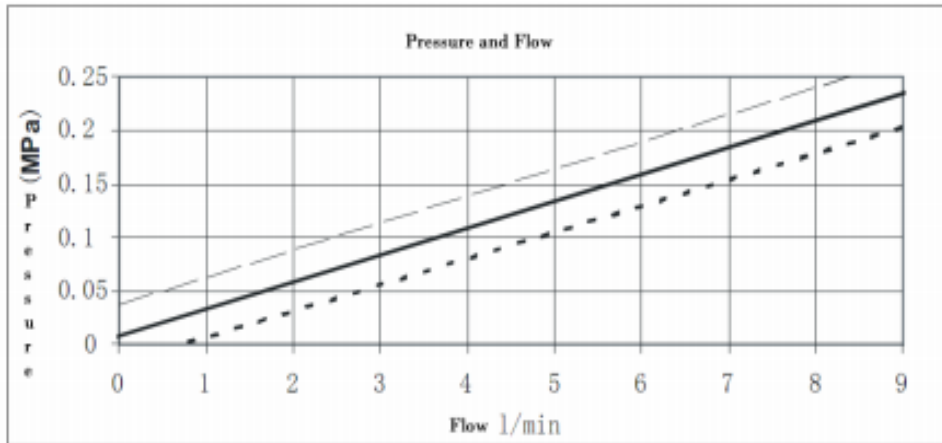
We can install it at home to save household energy, like using spray shower to light LEDs etc.



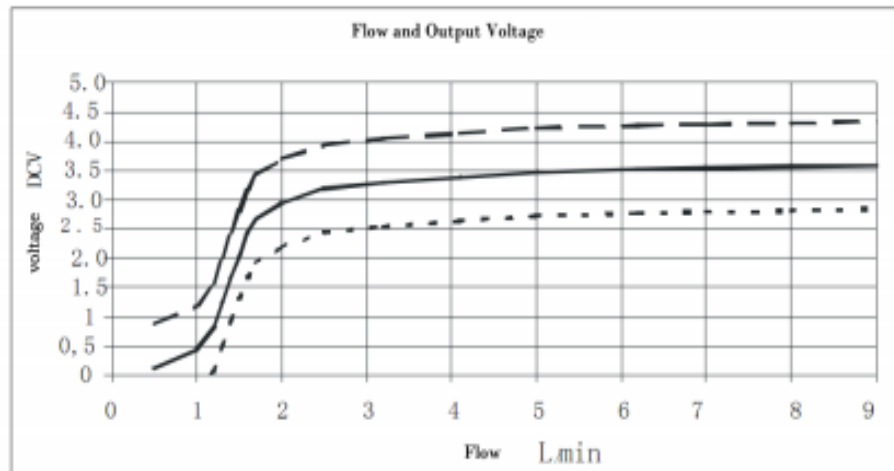
Features

Weight	165 g
Output voltage	3.6V
Output current	300mA
Maximum working pressure	1.75 MPa
Working pressure	0 ~ 1.75MPa
Working temperature	0 ~ 110°C
By 110 °C maximum work 30 min	
Store temperature	-25°C ~ 65°C
Recommend flow rate range	1.5~20 l/min (Pressure 0.05-0.2mpa)
Installation Method	direction of arrow
Material	nylon/glass fiber, Polyformaldehyde

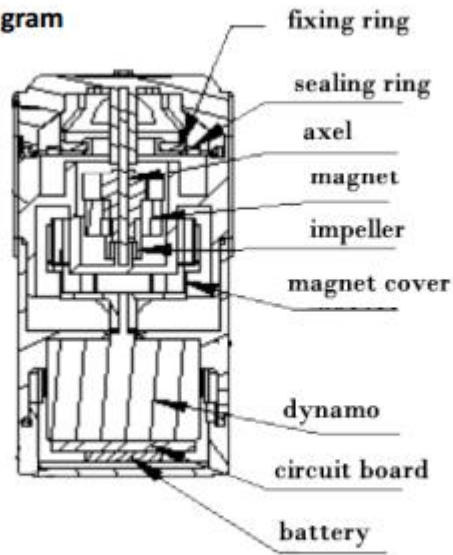
Pressure and Flow diagram



Flow and Output voltage Diagram



Structure diagram

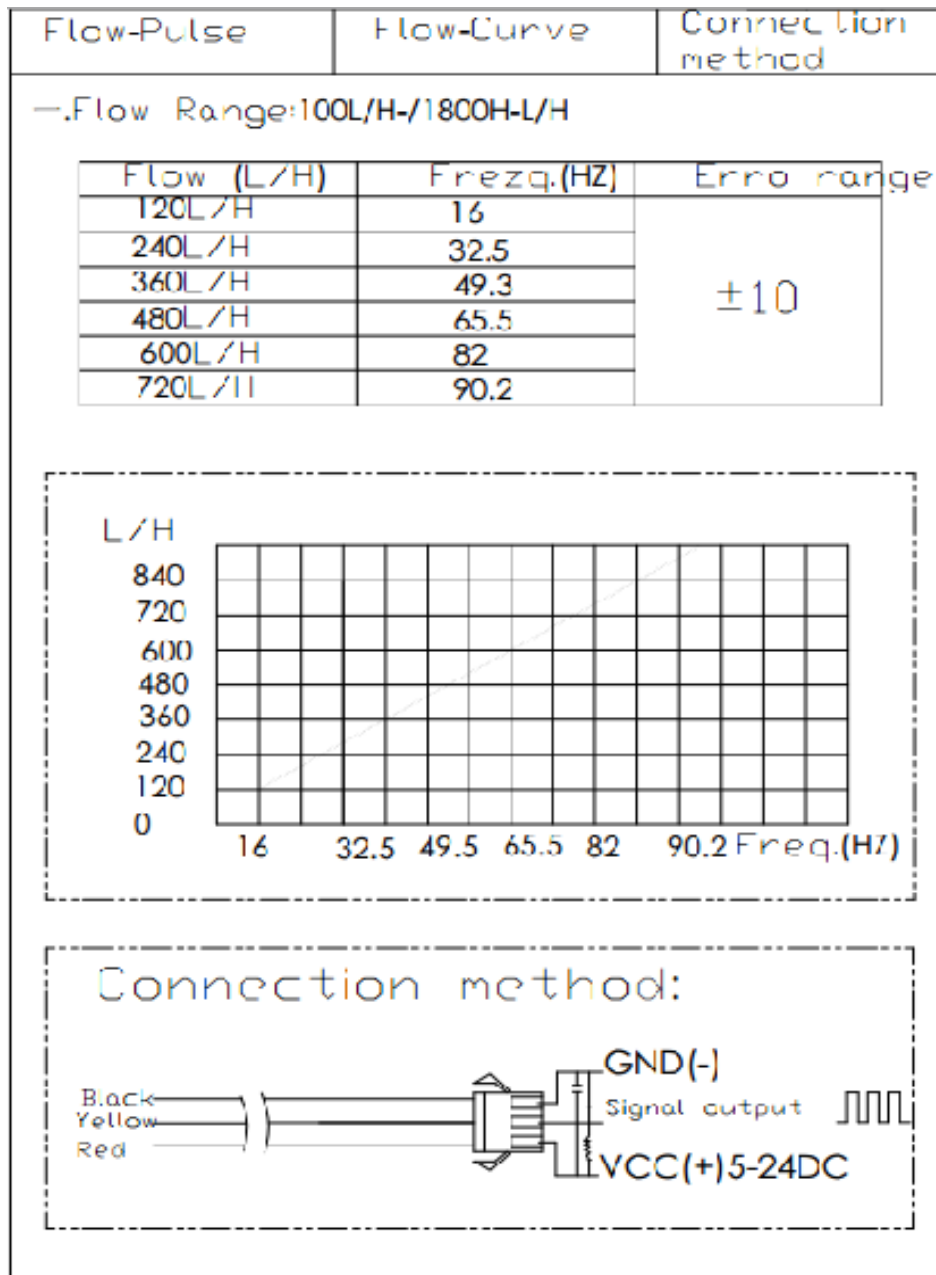


Revision History

Rev.	Descriptions	Release date
1.0	Initial public release	27.05.2010

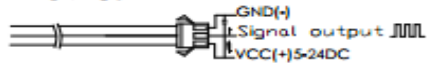
ANEXO D

DATASHEET SENSOR DE CAUDAL



YIFA the plastics Ltd Product Introduction

- 1. Model: YF-21
- 2. Product Name: Hall sensor
- 3. Flow Range: 1-30L/MIN
- 4. (1) Connection Method

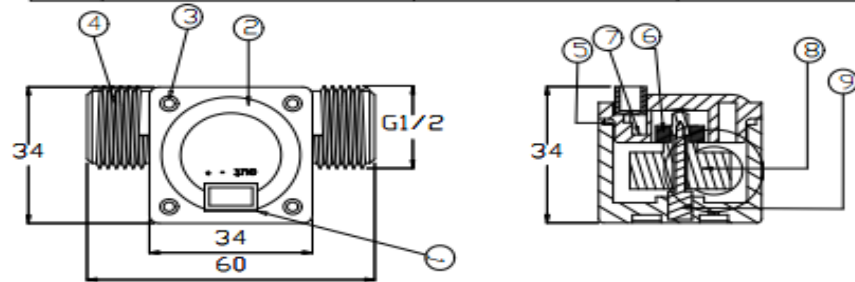


- (2) Voltage Range 3.5-24VDC, Pulse Characteristic: F=7Q(L/MIN)
- (3) Extent of error: ±5%.

- (4) Flow-Pulse
 - 2L/MIN=16HZ 4L/MIN=32.5HZ 6L/MIN=49.3HZ
 - 8L/MIN=65.5HZ 10L/MIN=82HZ

5. Bom

No.	Item	Material	Qty.
1	Connection wire		1
2	Bonnet	PA	1
3	Screw		4
4	Valve body	PA	1
5	Leak press valve		1
6	Magnet		1
7	Hall		1
8	Impeller	POM	1
9	Rustless steel axis	SUS304	1
10			
11			



ANEXO E

DATASHEET MODULO XBEE S1 ANTENA PCB XB24-API-001

1. XBee®/XBee-PRO® RF Modules

The XBee and XBee-PRO RF Modules were engineered to meet IEEE 802.15.4 standards and support the unique needs of low-cost, low-power wireless sensor networks. The modules require minimal power and provide reliable delivery of data between devices.

The modules operate within the ISM 2.4 GHz frequency band and are pin-for-pin compatible with each other.



Key Features

Long Range Data Integrity

XBee

- Indoor/Urban: up to 100' (30 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 300' (90 m)
- Transmit Power: 1 mW (0 dBm)
- Receiver Sensitivity: -92 dBm

XBee-PRO

- Indoor/Urban: up to 300' (90 m), 200' (60 m) for International variant
- Outdoor line-of-sight: up to 1 mile (1600 m), 2500' (750 m) for International variant
- Transmit Power: 63mW (18dBm), 10mW (10dBm) for International variant
- Receiver Sensitivity: -100 dBm

RF Data Rate: 250,000 bps

Advanced Networking & Security

Retries and Acknowledgements
DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
Each direct sequence channels has over 65,000 unique network addresses available
Source/Destination Addressing
Unicast & Broadcast Communications
Point-to-point, point-to-multipoint and peer-to-peer topologies supported

Low Power

XBee

- TX Peak Current: 45 mA (@3.3 V)
- RX Current: 50 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 μ A

XBee-PRO

- TX Peak Current: 250mA (150mA for International variant)
- TX Peak Current (RPSMA module only): 340mA (180mA for International variant)
- RX Current: 55 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 μ A

ADC and I/O line support

Analog-to-digital conversion, Digital I/O
I/O Line Passing

Easy-to-Use

No configuration necessary for out-of box RF communications
Free X-CTU Software (Testing and configuration software)
AT and API Command Modes for configuring module parameters
Extensive command set
Small form factor

Worldwide Acceptance

FCC Approval (USA) Refer to Appendix A [p64] for FCC Requirements. Systems that contain XBee®/XBee-PRO® RF Modules inherit Digi Certifications.

ISM (Industrial, Scientific & Medical) 2.4 GHz frequency band

Manufactured under **ISO 9001:2000** registered standards

XBee®/XBee-PRO® RF Modules are optimized for use in the United States, Canada, Australia, Japan, and Europe. Contact Digi for complete list of government agency approvals.



Specifications

Table 1-01. Specifications of the XBee®/XBee-PRO® RF Modules

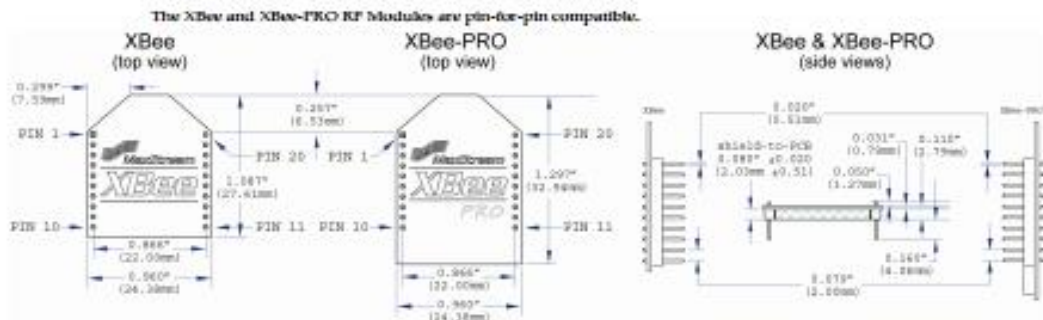
Specification	XBee	XBee-PRO
Performance		
Indoor/Urban Range	Up to 100 ft (30 m)	Up to 300 ft (90 m), up to 200 ft (60 m) International variant
Outdoor RF line-of-sight Range	Up to 300 ft (90 m)	Up to 1 mile (1600 m), up to 2500 ft (750 m) International variant
Transmit Power Output (software selectable)	1mW (0 dBm)	63mW (18dBm)* 10mW (10 dBm) for International variant
RF Data Rate	250,000 bps	250,000 bps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-92 dBm (1% packet error rate)	-100 dBm (1% packet error rate)
Power Requirements		
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V	2.8 – 3.4 V
Transmit Current (typical)	45mA (@ 3.3 V)	250mA (@3.3 V) (150mA for international variant) RPSMA module only: 340mA (@3.3 V) (180mA for international variant)
Idle / Receive Current (typical)	50mA (@ 3.3 V)	55mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 10 µA	< 10 µA
General		
Operating Frequency	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (Industrial)	-40 to 85° C (Industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector
Networking & Security		
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint & Peer-to-peer	
Number of Channels (software selectable)	16 Direct Sequence Channels	12 Direct Sequence Channels
Addressing Options	PAN ID, Channel and Addresses	PAN ID, Channel and Addresses
Agency Approvals		
United States (FCC Part 15.247)	OUR-XBEE	OUR-XBEEPRO
Industry Canada (IC)	4214A XBEE	4214A XBEEPRO
Europe (CE)	ETSI	ETSI (Max. 10 dBm transmit power output)*
Japan	R201WW07215214	R201WW08215111 (Max. 10 dBm transmit power output)*
Australia	C-Tick	C-Tick

* See Appendix A for region-specific certification requirements.

Antenna Options: The ranges specified are typical when using the integrated Whip (1.5 dBi) and Dipole (2.1 dBi) antennas. The Chip antenna option provides advantages in its form factor; however, it typically yields shorter range than the Whip and Dipole antenna options when transmitting outdoors. For more information, refer to the "XBee Antennas" Knowledgebase Article located on Digi's Support Web site

Mechanical Drawings

Figure 1-01. Mechanical drawings of the XBee®/XBee-PRO® RF Modules (antenna options not shown)



Mounting Considerations

The XBee®/XBee-PRO® RF Module was designed to mount into a receptacle (socket) and therefore does not require any soldering when mounting it to a board. The XBee Development Kits contain RS-232 and USB interface boards which use two 20-pin receptacles to receive modules.

Figure 1-02. XBee Module Mounting to an RS-232 Interface Board.



The receptacles used on Digi development boards are manufactured by Century Interconnect. Several other manufacturers provide comparable mounting solutions; however, Digi currently uses the following receptacles:

- Through-hole single-row receptacles -
Samtec P/N: MMS-110-01-L-SV (or equivalent)
- Surface-mount double-row receptacles -
Century Interconnect P/N: CPRMSL20-D-0-1 (or equivalent)
- Surface-mount single-row receptacles -
Samtec P/N: SMM-110-02-SM-S

Digi also recommends printing an outline of the module on the board to indicate the orientation the module should be mounted.

Pin Signals

Figure 1-03. XBee®/XBee-PRO® RF Module Pin Numbers

(top sides shown - shields on bottom)



Table 1-02. Pin Assignments for the XBee and XBee-PRO Modules
(Low-asserted signals are distinguished with a horizontal line above signal name.)

Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / CONFIG	Input	UART Data In
4	<u>DO8*</u>	Output	Digital Output 8
5	<u>RESET</u>	Input	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	PWM0 / RSSI	Output	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator
7	PWM1	Output	PWM Output 1
8	[reserved]	-	Do not connect
9	<u>DTR / SLEEP_RC / D18</u>	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	AD4 / DIO4	Either	Analog Input 4 or Digital IO 4
12	CTS / DIO7	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital IO 7
13	<u>ON / SLEEP</u>	Output	Module Status Indicator
14	VREF	Input	Voltage Reference for AD Inputs
15	<u>Associate / AD5 / DIO5</u>	Either	Associated Indicator, Analog Input 5 or Digital IO 5
16	<u>RTS / AD6 / DIO6</u>	Either	Request-to-Send Flow Control, Analog Input 6 or Digital IO 6
17	AD3 / DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital IO 3
18	AD2 / DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital IO 2
19	AD1 / DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital IO 1
20	AD0 / DIO0	Either	Analog Input 0 or Digital IO 0

* Function is not supported at the time of this release

Design Notes:

- Minimum connections: VCC, GND, DOUT & DIN
- Minimum connections for updating firmware: VCC, GND, DIN, DOUT, RTS & DTR
- Signal Direction is specified with respect to the module
- Module includes a 50k Ω pull-up resistor attached to RESET
- Several of the input pull-ups can be configured using the PR command
- Unused pins should be left disconnected

Electrical Characteristics

Table 1-03. DC Characteristics (VCC = 2.5 - 3.4 VDC)

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
V_{IL}	Input Low Voltage	All Digital Inputs	-	-	0.35 * VCC	V
V_{IH}	Input High Voltage	All Digital Inputs	0.7 * VCC	-	-	V
V_{OL}	Output Low Voltage	$I_{OL} = 2 \text{ mA}$, VCC $\geq 2.7 \text{ V}$	-	-	0.5	V
V_{OH}	Output High Voltage	$I_{OH} = -2 \text{ mA}$, VCC $\geq 2.7 \text{ V}$	VCC - 0.5	-	-	V
I_{IH}	Input Leakage Current	$V_{IH} = \text{VCC or GND}$, all inputs, per pin	-	0.025	1	μA
I_{ICZ}	High Impedance Leakage Current	$V_{IH} = \text{VCC or GND}$, all IO High-Z, per pin	-	0.025	1	μA
TX	Transmit Current	VCC = 3.3 V	-	45 (XBee) 215, 140 (PRD, Int)	-	mA
RX	Receive Current	VCC = 3.3 V	-	50 (XBee) 55 (PRD)	-	mA
PWR-DWN	Power-down Current	SM parameter = 1	-	< 10	-	μA

Table 1-04. ADC Characteristics (Operating)

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
V_{REFH}	VREF - Analog-to-Digital converter reference range		2.08	-	V_{DDAD}^*	V
I_{REF}	VREF - Reference Supply Current	Enabled	-	200	-	μA
		Disabled or Sleep Mode	-	< 0.01	0.02	μA
V_{INCC}	Analog Input Voltage ¹		$V_{SSAD} - 0.3$	-	$V_{DDAD} + 0.3$	V

1. Maximum electrical operating range, not valid conversion range.

* V_{DDAD} is connected to VCC.

Table 1-05. ADC Timing/Performance Characteristics¹

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
R_{AS}	Source Impedance at Input ²		-	-	10	Ω
V_{AHL}	Analog Input Voltage ³		V_{REFL}		V_{REFH}	V
RES	Ideal Resolution (1 LSB) ⁴	$2.08\text{V} \leq V_{DDAD} \leq 3.6\text{V}$	2.031	-	3.516	mV
DNL	Differential Non-linearity ⁵		-	± 0.5	± 1.0	LSB
INL	Integral Non-linearity ⁶		-	± 0.5	± 1.0	LSB
E_{ZS}	Zero-scale Error ⁷		-	± 0.4	± 1.0	LSB
F_{FS}	Full-scale Error ⁸		-	± 0.4	± 1.0	LSB
E_L	Input Leakage Error ⁹		-	± 0.05	± 5.0	LSB
E_{TU}	Total Unadjusted Error ¹⁰		-	± 1.1	± 2.5	LSB

1. All ACCURACY numbers are based on processor and system being in WAIT state (very little activity and no IO switching) and that adequate low-pass filtering is present on analog input pins (filter with 0.01 μF to 0.1 μF capacitor between analog input and VREFL). Failure to observe these guidelines may result in system or microcontroller noise causing accuracy errors which will vary based on board layout and the type and magnitude of the activity.

Data transmission and reception during data conversion may cause some degradation of these specifications, depending on the number and timing of packets. It is advisable to test the ADCs in your installation if best accuracy is required.

2. R_{AS} is the real portion of the impedance of the network driving the analog input pin. Values greater than this amount may not fully charge the input circuitry of the ATD resulting in accuracy error.

3. Analog input must be between V_{REFL} and V_{REFH} for valid conversion. Values greater than V_{REFH} will convert to \$3FF.

4. The resolution is the ideal step size or 1LSB = $(V_{REFH} - V_{REFL})/1024$

5. Differential non-linearity is the difference between the current code width and the ideal code width (1LSB). The current code width is the difference in the transition voltages to and from the current code.

6. Integral non-linearity is the difference between the transition voltage to the current code and the adjusted ideal transition voltage for the current code. The adjusted ideal transition voltage is $(\text{Current Code} - 1/2) * (1 / ((V_{REFH} * E_{ZS}) - (V_{REFL} * E_{ZS})))$.

7. Zero-scale error is the difference between the transition to the first valid code and the ideal transition to that code. The ideal transition voltage to a given code is $(\text{Code} - 1/2) * (1 / (V_{REFH} - V_{REFL}))$.

8. Full-scale error is the difference between the transition to the last valid code and the ideal transition to that code. The ideal transition voltage to a given code is $(\text{Code} - 1/2) * (1 / (V_{REFH} - V_{REFL}))$.

9. Input leakage error is error due to input leakage across the real portion of the impedance of the network driving the analog pin. Reducing the impedance of the network reduces this error.

ANEXO F

DATASHEET ELEVADOR DE TENSIÓN

XLSEMI

XL6009

400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter

Features

- Wide 5V to 32V Input Voltage Range
- Positive or Negative Output Voltage Programming with a Single Feedback Pin
- Current Mode Control Provides Excellent Transient Response
- 1.25V reference adjustable version
- Fixed 400KHz Switching Frequency
- Maximum 4A Switching Current
- SW PIN Built in Over Voltage Protection
- Excellent line and load regulation
- EN PIN TTL shutdown capability
- Internal Optimize Power MOSFET
- High efficiency up to 94%
- Built in Frequency Compensation
- Built in Soft-Start Function
- Built in Thermal Shutdown Function
- Built in Current Limit Function
- Available in TO263-5L package

General Description

The XL6009 regulator is a wide input range, current mode, DC/DC converter which is capable of generating either positive or negative output voltages. It can be configured as either a boost, flyback, SEPIC or inverting converter. The XL6009 built in N-channel power MOSFET and fixed frequency oscillator, current-mode architecture results in stable operation over a wide range of supply and output voltages.

The XL6009 regulator is special design for portable electronic equipment applications.

Applications

- EPC / Notebook Car Adapter
- Automotive and Industrial Boost / Buck-Boost / Inverting Converters
- Portable Electronic Equipment



TO263-5L

Figure1. Package Type of XL6009

400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter

Pin Configurations

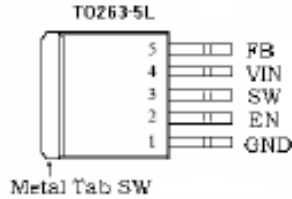


Figure2. Pin Configuration of XL6009 (Top View)

Table 1 Pin Description

Pin Number	Pin Name	Description
1	GND	Ground Pin
2	EN	Enable Pin. Drive EN pin low to turn off the device, drive it high to turn it on. Floating is default high.
3	SW	Power Switch Output Pin (SW).
4	VIN	Supply Voltage Input Pin. XL6009 operates from a 5V to 32V DC voltage. Bypass Vin to GND with a suitably large capacitor to eliminate noise on the input.
5	FB	Feedback Pin (FB). Through an external resistor divider network, FB senses the output voltage and regulates it. The feedback threshold voltage is 1.25V.

400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter

Function Block

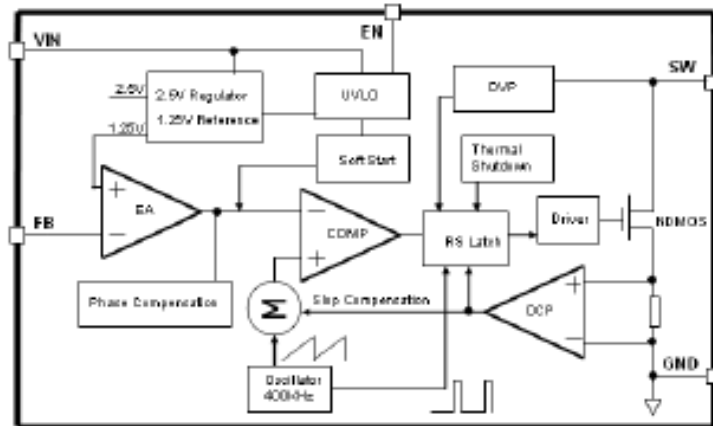


Figure3. Function Block Diagram of XL6009

Typical Application Circuit

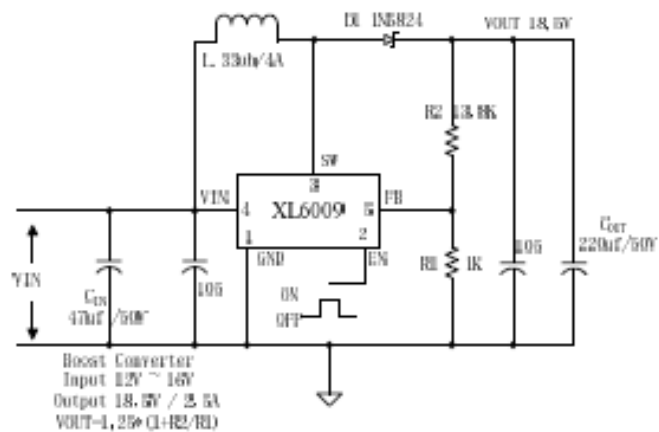


Figure4. XL6009 Typical Application Circuit (Boost Converter)

400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter

Ordering Information

Package	Temperature Range	Part Number	Marking ID	Packing Type
		Lead Free	Lead Free	
		XL6009E1	XL6009E1	Tube
XL6009TRE1	XL6009E1	Tape & Reel		

XLSEMI Pb-free products, as designated with "E1" suffix in the part number, are RoHS compliant.

Absolute Maximum Ratings (Note1)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage	V_{in}	-0.3 to 36	V
Feedback Pin Voltage	V_{FB}	-0.3 to V_{in}	V
EN Pin Voltage	V_{EN}	-0.3 to V_{in}	V
Output Switch Pin Voltage	V_{Output}	-0.3 to 60	V
Power Dissipation	P_D	Internally limited	mW
Thermal Resistance (TO263-5L) (Junction to Ambient, No Heatsink, Free Air)	R_{JA}	30	°C/W
Operating Junction Temperature	T_J	-40 to 125	°C
Storage Temperature	T_{STG}	-65 to 150	°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	T_{LEAD}	260	°C
ESD (HBM)		>2000	V

Note1: Stresses greater than those listed under Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect reliability.

400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter

XL6009 Electrical Characteristics

$T_a = 25^{\circ}\text{C}$; unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
<i>System parameters test circuit figure4</i>						
VFB	Feedback Voltage	$V_{in} = 12\text{V to }16\text{V}, V_{out}=18\text{V}$ $I_{load}=0.1\text{A to }2\text{A}$	1.213	1.25	1.287	V
Efficiency	η	$V_{in}=12\text{V}, V_{out}=18.5\text{V}$ $I_{out}=2\text{A}$	-	92	-	%

Electrical Characteristics (DC Parameters)

$V_{in} = 12\text{V}, GND=0\text{V}$, V_{in} & GND parallel connect a $220\mu\text{f}/50\text{V}$ capacitor; $I_{out}=0.5\text{A}$, $T_a = 25^{\circ}\text{C}$; the others floating unless otherwise specified.

Parameters	Symbol	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input operation voltage	V_{in}		5		32	V
Shutdown Supply Current	I_{STBY}	$V_{IN}=0\text{V}$		70	100	μA
Quiescent Supply Current	I_q	$V_{IN}=2\text{V}$, $V_{FB}=V_{in}$		2.5	5	mA
Oscillator Frequency	F_{osc}		320	400	480	KHz
Switch Current Limit	I_L	$V_{FB}=0$		4		A
Output Power NMOS	R_{dson}	$V_{in}=12\text{V}$, $I_{sw}=4\text{A}$		110	120	mohm
EN Pin Threshold	V_{EN}	High (Regulator ON) Low (Regulator OFF)		1.4 0.8		V
EN Pin Input Leakage Current	I_{IH}	$V_{EN}=2\text{V (ON)}$		3	10	μA
	I_{IL}	$V_{EN}=0\text{V (OFF)}$		3	10	μA
Max. Duty Cycle	D_{MAX}	$V_{FB}=0\text{V}$		90		%

400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter

Schottky Diode Selection Table

Current	Surface Mount	Through Hole	VR (The same as system maximum input voltage)				
			20V	30V	40V	50V	60V
1A		✓	1N5817	1N5818	1N5819		
3A		✓	1N5820	1N5821	1N5822		
		✓	MBR320	MBR330	MBR340	MBR350	MBR360
	✓		SK32	SK33	SK34	SK35	SK36
	✓			30WQ03	30WQ04	30WQ05	
		✓		31DQ03	31DQ04	31DQ05	
		✓	SR302	SR303	SR304	SR305	SR306
5A		✓	1N5823	1N5824	1N5825		
		✓	SR502	SR503	SR504	SR505	SR506
		✓	SB520	SB530	SB540	SB550	SB560
	✓			50WQ03	50WQ04	50WQ05	

Typical System Application for EPC/Notebook Car Adapter – Boost (Output 18.5V/2.5A)

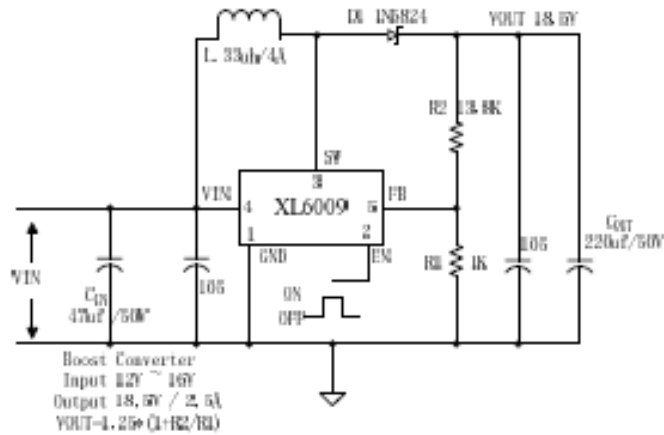


Figure5. XL6009 Typical System Application (Boost Converter)

400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter

Typical System Application for Portable Notebook Car Adapter
 - SEPIC Buck-Boost Topology (Input 10V~30V, Output 12V/2A)

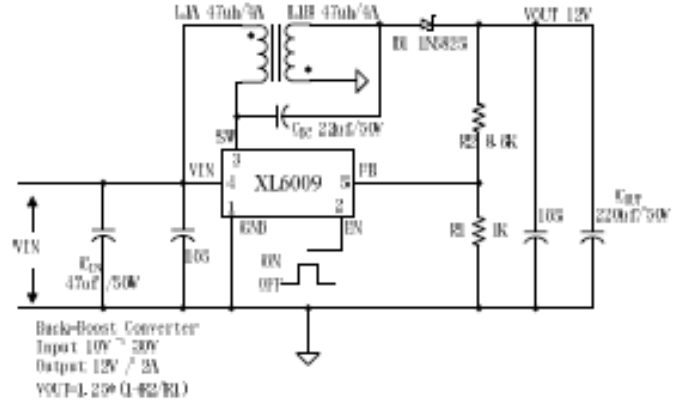


Figure6. XL6009 Typical System Application (SEPIC Buck-Boost Converter)

Typical System Application for Inverting Converter
 - SEPIC Inverting Topology (Input 10V~30V, Output + -12V/1A)

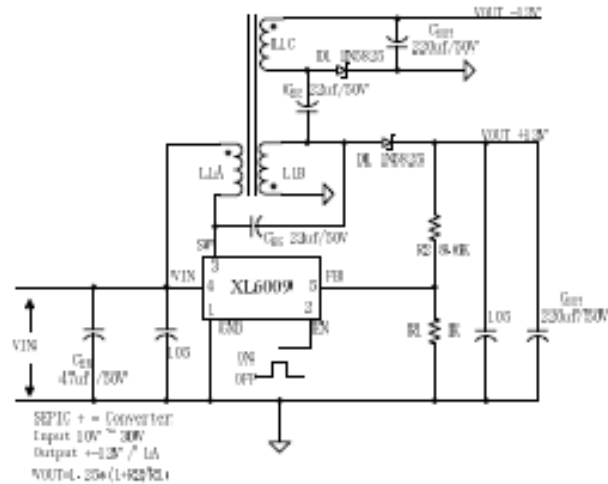
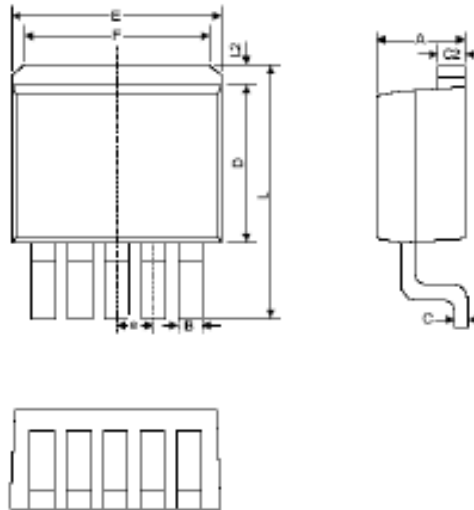


Figure7. XL6009 Typical System Application (SEPIC Inverting Converter)

Package Information

TO263-5L



Symbol	Dimensions In Millimeters		Dimensions In Inches	
	Min	Max	Min	Max
A	4.440	4.650	0.175	0.183
B	0.710	0.970	0.028	0.038
C	0.360	0.640	0.014	0.025
C2	1.255	1.285	0.049	0.051
D	8.390	8.890	0.330	0.350
E	9.980	10.360	0.392	0.408
e	1.550	1.850	0.061	0.073
F	6.360	7.360	0.250	0.290
L	13.950	14.750	0.549	0.581
L2	1.120	1.420	0.044	0.056

ANEXO G

**TABLA DE RANGO DE CAUDALES PARA PRUEBA DE CALIBRACIÓN
SEGÚN LA NORMA NTC 1063:2007**

Q3 / Q1	Q1 (L/h)	Q2 (L/h)	Q3 (L/h)	Q4 (L/h)	Clase
20	80.00	128.00	1600	2000	< A
25	64.00	102.40	1600	2000	< A
31.5	50.79	81.27	1600	2000	> A
40	40.00	64.00	1600	2000	> A
50	32.00	51.20	1600	2000	< B
60	26.67	42.67	1600	2000	> B
80	20.00	32.00	1600	2000	> B
100	16.00	25.60	1600	2000	< C
125	12.80	20.48	1600	2000	> C
160	10.00	16.00	1600	2000	> D
200	8.00	12.80	1600	2000	> D

ANEXO H

PRUEBA DE CONTINUIDAD DE FLUJO

Tiempo (s)	Litros entrada	Litros salida
1	0,01926891	0,00226912
2	0,04576368	0,0226912
3	0,07225844	0,0673173
4	0,10116186	0,0937903
5	0,12765663	0,121776
6	0,15415139	0,147493
7	0,18064616	0,17321
8	0,20714092	0,198926
9	0,23363569	0,225399
10	0,26013045	0,25036
11	0,28903387	0,27532
12	0,31552864	0,298768
13	0,3420234	0,323728
14	0,36851817	0,349445
15	0,39501293	0,374405
16	0,4215077	0,399365
17	0,45041112	0,423569
18	0,47690588	0,449286
19	0,50340065	0,475003
20	0,52989541	0,500719
21	0,55639018	0,526436
22	0,5852936	0,551396
23	0,61178837	0,77113
24	0,63828313	0,02074
25	0,6647779	0,2779
26	0,69127266	0,652751
27	0,72017608	0,678467
28	0,74667085	0,704184
29	0,77316561	0,729144
30	0,79966038	0,754861
31	0,82615514	0,779821
32	0,85505856	0,804782

33	0,88155333	0,830499
34	0,90804809	0,854702
35	0,93454286	0,878906
36	0,96103762	0,90311
37	0,98994104	0,926558
38	1,01643581	0,50762
39	1,04293057	0,75722
40	1,06942534	1,00144
41	1,0959201	1,0264
42	1,12482353	1,04985
43	1,15131829	1,07254
44	1,17781306	1,09523
45	1,20430782	1,11868
46	1,23321124	1,14364
47	1,25970601	1,16633
48	1,28620077	1,18978
49	1,31269554	1,21322
50	1,3391903	1,23743
51	1,36568507	1,26163
52	1,39458849	1,28584
53	1,42108325	1,31004
54	1,44757802	1,33424
55	1,47407278	1,35845
56	1,5029762	1,38265
57	1,52947097	1,4061
58	1,55596573	1,42955
59	1,5824605	1,45299
60	1,60895526	1,4772
61	1,63785869	1,5014
62	1,66435345	1,52561
63	1,69084822	1,54981
64	1,71734298	1,57477
65	1,7462464	1,59897
66	1,77274117	1,62393
67	1,79923593	1,64814
68	1,82813935	1,6731
69	1,85463412	1,6973
70	1,88112888	1,72226

71	1,90762365	1,74647
72	1,93411841	1,76991
73	1,96061318	1,79336
74	1,9895166	1,81832
75	2,01601136	1,84328
76	2,04250613	1,86673
77	2,06900089	1,89018
78	2,09790431	1,94237
79	2,12439908	1,99683
80	2,15089384	2,03389
81	2,17738861	2,07171
82	2,20629203	2,10877
83	2,2327868	2,14583
84	2,25928156	2,18214
85	2,28577633	2,21844
86	2,31467975	2,25475
87	2,34117451	2,2903
88	2,36766928	2,32661
89	2,39416404	2,36216
90	2,42065881	2,39695
91	2,44956223	2,43174
92	2,47605699	2,46578
93	2,50255176	2,49982
94	2,52904652	2,53461
95	2,55794994	2,56865
96	2,58444471	2,60344
97	2,61093947	2,63823
98	2,63743424	2,67303
99	2,66633766	2,70782
100	2,69283242	2,74337
101	2,71932719	2,77892
102	2,74582196	2,81371
103	2,77472538	2,8485
104	2,80122014	2,8833
105	2,82771491	2,9196
106	2,85420967	2,95515
107	2,88311309	2,98995
108	2,90960786	3,02474

109	2,93610262	3,06029
110	2,96259739	3,09735
111	2,99150081	3,13441
112	3,01799557	3,16996
113	3,04449034	3,20551
114	3,0709851	3,24182
115	3,09988852	3,27812
116	3,12638329	3,31443
117	3,15287805	3,35149
118	3,17937282	3,3878
119	3,20827624	3,4241
120	3,23477101	3,46041
121	3,26126577	3,49672
122	3,28776054	3,53302
123	3,31666396	3,56933
124	3,34315872	3,60488
125	3,36965349	3,63967
126	3,39614825	3,67598
127	3,42264302	3,71228
128	3,45154644	3,74859
129	3,4780412	3,78414
130	3,50453597	3,82801
131	3,53103073	3,89759
132	3,5575255	3,94676
133	3,58642892	3,99517
134	3,61292368	4,04282
135	3,63941845	4,09047
136	3,66591321	4,13812
137	3,69481663	4,18653
138	3,7213114	4,23342
139	3,74780616	4,28108
140	3,77430093	4,32873
141	3,8007957	4,37487
142	3,82969912	4,42025
143	3,85619388	4,46563
144	3,88268865	4,51177
145	3,91159207	4,55942
146	3,93808683	4,60632

147	3,9645816	4,6517
148	3,99107636	4,69632
149	4,01997978	4,74171
150	4,04647455	4,78785
151	4,07296931	4,83323
152	4,09946408	4,87937
153	4,1283675	4,92475
154	4,15486226	4,96938
155	4,18135703	5,014
156	4,21026045	5,05863
157	4,23675521	5,10401
158	4,26324998	5,15015
159	4,2921534	5,19704
160	4,31864817	5,24318
161	4,34514293	5,29008
162	4,37404635	5,33622
163	4,40054112	5,38236
164	4,42703588	5,42925
165	4,4559393	5,47615
166	4,48243407	5,52228
167	4,50892883	5,56842
168	4,5354236	5,61456
169	4,56432702	5,66146
170	4,59082178	5,70835
171	4,61731655	5,756
172	4,64381131	5,82862
173	4,67271473	5,91938
174	4,6992095	6,00863
175	4,72570426	6,09637
176	4,75219903	6,18487
177	4,78110245	6,27261
178	4,80759722	6,36035
179	4,83409198	6,44809
180	4,86058675	6,53507
181	4,88949017	6,62281
182	4,91598493	6,7113
183	4,9424797	6,7998
184	4,97138312	6,8883

185	4,99787788	6,97604
186	5,02437265	7,06302
187	5,05086741	7,15
188	5,07977083	7,23623
189	5,1062656	7,32246
190	5,13276036	7,40793
191	5,16166378	7,49264
192	5,18815855	7,57811
193	5,21465331	7,66207
194	5,24114808	7,74678
195	5,2700515	7,83301
196	5,29654626	7,92075
197	5,32304103	8,00697
198	5,35194445	8,09017
199	5,37843922	8,15522
200	5,40493398	8,20893
201	5,43142875	8,25128
202	5,46033217	8,29213
203	5,48682693	8,33373
204	5,5133217	8,37986
205	5,53981646	8,42827
206	5,56871988	8,47668
207	5,59521465	8,52509
208	5,62170941	8,57199
209	5,65061283	8,62039
210	5,6771076	8,6688
211	5,70360236	8,71721
212	5,73009713	8,76562
213	5,75900055	8,81402
214	5,78549531	8,86319
215	5,81199008	8,9116
216	5,8408935	8,96076
217	5,86738827	9,00917
218	5,89388303	9,05758
219	5,92278645	9,10598
220	5,94928122	9,15439
221	5,97577598	9,2028
222	6,0046794	9,25121

223	6,03117417	9,29962
224	6,05766893	9,34727
225	6,0841637	9,39416
226	6,11306712	9,44181
227	6,13956188	9,48947
228	6,16605665	9,53863
229	6,19496007	9,58779
230	6,22145483	9,63696
231	6,2479496	9,68688
232	6,27444436	9,73604
233	6,30334778	9,78521
234	6,32984255	9,83362
235	6,35633732	9,88202
236	6,38524074	9,92968
237	6,4117355	9,97733
238	6,43823027	10,025
239	6,46713369	
240	6,49362845	
241	6,52012322	
242	6,54902664	
243	6,5755214	
244	6,60201617	
245	6,62851093	
246	6,65741435	
247	6,68390912	
248	6,71281254	
249	6,7393073	
250	6,76580207	
251	6,79229683	
252	6,82120026	
253	6,84769502	
254	6,87418979	
255	6,90309321	
256	6,92958797	
257	6,95608274	
258	6,98498616	
259	7,01148092	
260	7,03797569	

261	7,06687911	
262	7,09337387	
263	7,11986864	
264	7,1463634	
265	7,17526682	
266	7,20176159	
267	7,22825635	
268	7,25475112	
269	7,28365454	
270	7,3101493	
271	7,33664407	
272	7,36554749	
273	7,39204226	
274	7,41853702	
275	7,44744044	
276	7,47393521	
277	7,50042997	
278	7,52692474	
279	7,55582816	
280	7,58232292	
281	7,60881769	
282	7,63772111	
283	7,66421587	
284	7,69071064	
285	7,7172054	
286	7,74610882	
287	7,77260359	
288	7,79909835	
289	7,82559312	
290	7,85449654	
291	7,88099131	
292	7,90748607	
293	7,93638949	
294	7,96288426	
295	7,98937902	
296	8,01828244	
297	8,04477721	
298	8,07127197	

299	8,10017539	
300	8,12667016	
301	8,15316492	
302	8,18206834	
303	8,20856311	
304	8,23505787	
305	8,26155264	
306	8,2880474	
307	8,31695082	
308	8,34344559	
309	8,36994036	
310	8,39884378	
311	8,42533854	
312	8,45183331	
313	8,48073673	
314	8,50723149	
315	8,53372626	
316	8,56022102	
317	8,58912444	
318	8,61561921	
319	8,64211397	
320	8,66860874	
321	8,69751216	
322	8,72400692	
323	8,75050169	
324	8,77940511	
325	8,80589987	
326	8,83239464	
327	8,8588894	
328	8,88779283	
329	8,91428759	
330	8,94078236	
331	8,96968578	
332	8,99618054	
333	9,02267531	
334	9,05157873	
335	9,07807349	
336	9,10456826	

337	9,13106302	
338	9,15996644	
339	9,18646121	
340	9,21295597	
341	9,24185939	
342	9,26835416	
343	9,29484892	
344	9,32375234	
345	9,35024711	
346	9,37674187	
347	9,40323664	
348	9,43214006	
349	9,45863483	
350	9,48512959	
351	9,51403301	
352	9,54052778	
Total	9,56757328	10,025

ANEXO I

TABLA DE MINIMO CAUDAL

Tiempo (s)	Litros medidos
1	0,0005635
2	0,00676198
3	0,012397
4	0,0185954
5	0,0247939
6	0,0309924
7	0,0366274
8	0,0428259
9	0,0484608
10	0,0535323
11	0,0574768
12	0,0614213
13	0,0659293
14	0,0698738
15	0,0738182
16	0,0777627
17	0,0822707
18	0,0862152
19	0,0901597
20	0,0941042
21	0,0980487
22	0,101993
23	0,105938
24	0,109882
25	0,113827
26	0,117771
27	0,121152
28	0,124533
29	0,128478
30	0,132422
31	0,135803

32	0,139748
33	0,143128
34	0,146509
35	0,14989
36	0,153271
37	0,156652
38	0,160033
39	0,163414
40	0,166795
41	0,169613
42	0,172994
43	0,176375
44	0,179756
45	0,183137
46	0,185954
47	0,189335
48	0,192716
49	0,196097
50	0,198915
51	0,202296
52	0,205677
53	0,208494
54	0,211875
55	0,214693
56	0,218074
57	0,220891
58	0,224272
59	0,22709
60	0,229907
61	0,233288
62	0,236106
63	0,238923
64	0,242304
65	0,245122
66	0,247939
67	0,250757
68	0,250757
69	0,258646

70	0,265408
71	0,271043
72	0,276678
73	0,281186
74	0,281749
75	0,281749
76	0,281749
77	0,287948
78	0,295836
79	0,300908
80	0,305979
81	0,311614
82	0,317249
83	0,322884
84	NaN
85	0,328519
86	0,333591
87	0,339226
88	0,344297
89	0,349932
90	0,355004
91	0,360075
92	0,365147
93	0,370218
94	0,37529
95	0,380361
96	0,385433
97	0,390504
98	0,396139
99	0,401211
100	0,406282
101	0,411354
102	0,416425
103	0,421497
104	0,426568
105	0,431076
106	0,436147
107	0,441219

108	0,44629
109	0,451362
110	0,45587
111	0,460378
112	0,465449
113	0,470521
114	0,475029
115	0,4801
116	0,484608
117	0,48968
118	0,494751
119	0,499259
120	0,504331
121	0,508839
122	0,513347
123	0,517855
124	0,522926
125	0,527434
126	0,531942
127	0,53645
128	0,541522
129	0,54603
130	0,550538
131	0,555046
132	0,559554
133	0,564062
134	0,56857
135	0,573077
136	0,578149
137	0,582657
138	0,587165
139	0,591673
140	0,596744
141	0,601252
142	0,60576
143	0,610832
144	0,61534
145	0,619848

146	0,624919
147	0,629427
148	0,634499
149	0,639007
150	0,643515
151	0,648586
152	0,653094
153	0,657602
154	0,662674
155	0,667182
156	0,67169
157	0,676198
158	0,681269
159	0,685777
160	0,690285
161	0,694793
162	0,699301
163	0,704373
164	0,708881
165	0,713388
166	0,717897
167	0,722404
168	0,726912
169	0,73142
170	0,735928
171	0,739873
172	0,744381
173	0,748889
174	0,753397
175	0,757905
176	0,761849
177	0,766357
178	0,770865
179	0,77481
180	0,779318
181	0,783262
182	0,78777
183	0,792278

184	0,796223
185	0,800731
186	0,804675
187	0,809183
188	0,813128
189	0,817636
190	0,82158
191	0,826088
192	0,830033
193	0,834541
194	0,838485
195	0,84243
196	0,846938
197	0,851446
198	0,85539
199	0,859898
200	0,863842
201	0,868351
202	0,872858
203	0,877366
204	0,881311
205	0,885819
206	0,890327
207	0,894835
208	0,898779
209	0,903287
210	0,907795
211	0,912303
212	0,916811
213	0,921319
214	0,925827
215	0,930335
216	0,934843
217	0,939351
218	0,943859
219	0,948367
220	0,952875
221	0,95682

222	0,961328
223	0,965836
224	0,970344
225	0,974288
226	0,978796
227	0,983304
228	0,987249
229	0,991757
230	0,995701
231	10,0021
232	10,0472
233	10,0923
234	10,1373
235	10,1768
236	10,2219
237	10,2669
238	10,3064
239	10,3515

ANEXO J

ESQUEMATICO EN KICAD

